

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерного топливного цикла

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Разработка алгоритма ультразвуковой томографии компонентов атомной энергетики с использованием фазированных антенных решеток на основе метода синтезированной апертуры</b>

УДК 621.039.564:620.179.16:620.179.152.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM73	Вдовенко Анастасия Юрьевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер МНОЛ НК ЦПТ ИШНКБ	Долматов Д.О.			

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Е.В.	к.филос.н..		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Кузнецов М.С.	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерного топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Кузнецов М.С.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0AM73	Вдовенко А.Ю.

Тема работы:

Разработка алгоритма ультразвуковой томографии компонентов атомной энергетики с использованием фазированных антенных решеток на основе метода синтезированной апертуры
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	– область применения – ядерный технический контроль; – сварные соединения – фрагмент пенала для хранения ОЯТ (патент RU 2 500 045 C1, 27.11.2013); – программное обеспечение CIVA.
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	– Анализ литературы по теме методов неразрушающего контроля; – Разработка алгоритма в программной среде MATLAB с учетом преобразований УЗ-волны в объекте контроля; – Проверка эффективности разработанного алгоритма с использованием программного пакета CIVAS; – Экспериментальная апробация разработанного алгоритма с использованием стандартного образца; – Дефектоскопия реального образца со сварным швом и реконструкция его внутренней структуры.
<b>Перечень графического материала</b>	Структурная электрическая схема ультразвуковой системы контроля – обязательный чертеж.

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Английский язык	Шайкина О.И.

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Литературный обзор
Разработка алгоритма ультразвуковой томографии сварных швов с использованием ФАР
Экспериментальная верификация разрабатываемого алгоритма
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
Социальная ответственность
Development of ultrasonic tomography algorithm for nuclear power engineering components

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер МНОЛ НК ЦПТ ИШНКБ	Долматов Д.О.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM73	Вдовенко А.Ю.		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM73	Вдовенко А.Ю.

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	– стоимость расходных материалов; – стоимость расхода электроэнергии; – норматив заработной платы; – тариф за электроэнергию; – размеры окладов исполнителей для расчета заработной платы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	– потенциальные потребители результатов исследования; – анализ конкурентных технических решений.
2. Разработка устава научно-технического проекта	– расчет затрат на амортизационные отчисления с используемого оборудования; – расчет заработной платы исполнителей.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	– оценка НТУ НИОКР; – реестр рисков.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	– расчет интегрального финансового показателя разработки; – интегральный показатель ресурсоэффективности; – интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки.

## Перечень графического материала

- «Портрет» потребителя результатов НТИ
- Оценка конкурентоспособности технических решений
- Матрица SWOT
- График проведения и бюджет НТИ
- Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
- Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Е.В.	к.филос.н..		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM73	Вдовенко А.Ю.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM73	Вдовенко А.Ю.

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля);</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).</li> </ul>
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность;</li> <li>– пожарная безопасность;</li> <li>– требования охраны труда при работе с ПК</li> </ul>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью;</li> <li>– предлагаемые средства защиты.</li> </ul>
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность;</li> <li>– пожаровзрывобезопасность</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM73	Вдовенко А.Ю.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 117 страниц, 26 рисунков, 23 таблицы, 48 формул, 39 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: атомная энергетика, неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль, SAFT.

Объектом исследования является усовершенствованный алгоритм пространственно-временной обработки на основе метода синтезированной апертуры.

Цель работы – разработать алгоритм ультразвуковой томографии пеналов хранения ОЯТ.

В процессе исследования изучались теоретические особенности алгоритма, проводились компьютерные симуляции ультразвукового контроля, реконструкция изображений внутренней структуры по акустическим данным симуляционного контроля, а также реконструкции по реальным акустическим данным стандартного образца, рассмотрены аспекты финансового менеджмента и социальной ответственности.

В результате исследования разработан алгоритм ультразвуковой томографии.

Область применения: Ядерный технический контроль и регулирование.

Значимость работы заключается в совершенствовании метода ультразвукового контроля, связанного с повышением достоверности полученных данных.

## Определения, обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие сокращения:

АЭ – атомная энергетика;

АЭС – атомная электростанция;

НК – неразрушающий контроль;

ОК – объект контроля;

ПК – персональный компьютер;

УЗ волна – ультразвуковая волна;

УЗК – ультразвуковой контроль.

В данной работе применены следующие определения:

объект контроля: изделие, подвергающееся проведению неразрушающего контроля;

отработавшее ядерное топливо (ОЯТ): извлеченные из активной зоны тепловыделяющие элементы, тепловыделяющие сборки ядерных реакторов атомных электростанций;

ультразвуковой контроль (УЗК): вид неразрушающего контроля, основанный на исследовании распространения ультразвуковых волн в исследуемом объекте;

ультразвуковая томография: построение 3D изображений объекта контроля и дефектов внутри него с помощью ультразвуковых преобразователей;

фазированная антенная решетка (ФАР): датчик, состоящий из нескольких одноканальных преобразователей.



## Содержание

Введение.....	12
1 Литературный обзор .....	14
1.1 Обеспечение безопасности компонентов атомной энергии .....	14
1.1.1 Нормативно-правовая база в области обеспечения оценки качества компонентов производства атомной энергии .....	15
1.2 Неразрушающий контроль сварных соединений .....	16
1.3 Методы УЗК.....	18
1.3.1 Недостатки эхо-метода УЗК .....	21
1.3.2 Проблемы контроля в технологии сварки .....	22
1.3.3 Повешение качества УЗК .....	23
1.3.4 Визуализация внутренней структуры объекта контроля .....	25
1.3.5 Метод SAFT .....	26
1.3.6 Полноматричный захват.....	27
1.3.7 Метод полной фокусировки.....	29
1.3.8 Метод регистрации отраженных лучей .....	30
2 Разработка алгоритма ультразвуковой томографии сварных швов с использованием ФАР .....	35
3 Экспериментальная верификация разработанного алгоритма .....	47
3.1 Программа для моделирования CIVA.....	47
3.2 Моделирование УЗК в CIVA .....	51
3.3 Реконструкция изображений дефектов.....	53
3.4 Апробация алгоритма на экспериментальном образце.....	56
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	61

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	62
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений .....	63
4.1.2 SWOT – анализ .....	64
4.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	65
4.2.1 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	67
4.2.2 Инициация проекта .....	67
4.2.3 Цели и результат проекта .....	68
4.2.5 Ограничения и допущения проекта.....	69
4.2.6 План проекта.....	70
4.3 Бюджет научного исследования .....	72
4.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	72
4.3.2 Расчет основной заработной платы.....	73
4.3.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	75
4.3.4 Отчисления на социальные нужды .....	76
4.3.5 Прочие прямые расходы.....	76
4.4 Реестр рисков проекта .....	77
4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования .....	78
5 Социальная защита .....	80
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	80
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПК .....	82
5.2.1 Требования к ПЭВМ и организация работы .....	82
5.2.2 Технические мероприятия.....	82

5.2.3 Условия безопасной работы.....	84
5.3 Электробезопасность .....	86
5.4 Пожарная и взрывная безопасность. ....	88
Список публикаций студента.....	90
Список использованных источников .....	92
Приложение А .....	97
Приложение Б .....	99
Приложение В.....	101

## Введение

В настоящее время ядерные технологии присутствуют во многих сферах человеческой деятельности. Энергетика, военное дело, наука, медицина – и это неполный список областей, развитие которых ускорилось в связи с проведением исследований в области ядерной физики.

Современные научные открытия, в своем большинстве, связаны со строительством крупномасштабных объектов, создание которых привело, с одной стороны к экономическим выгодам, а с другой, к появлению новых проблем, связанных с их безопасной эксплуатацией. Любое нарушение в производстве или в исследованиях может привести к аварии, а, следовательно, к человеческим и экономическим потерям. Для сохранения надежной работы объектов необходимо обеспечить безопасность технологических процессов, а на это непосредственно влияет качество используемой и производимой продукции. Так же нужно обеспечивать проверку данных процессов, ведь старение материалов может привести к разрушению приборов, устройств, деталей, что негативно скажется на работе объекта. Поэтому очень важно контролировать прочностные свойства и степень надежности всех устройств и изделий на современных предприятиях.

Проверка состояния параметров устройств не должна нарушать его пригодности к применению, и данному требованию отвечает метод неразрушающего контроля. Методика данного метода заключается в использовании различных видов излучения, которые позволяют «просвечивать» устройства и обнаруживать скрытые в их объеме дефекты. Вид излучения подбирается в зависимости от материала устройства, который необходимо контролировать, и от возможности применения того или иного способа проверки.

Методы неразрушающего контроля широко используются в сфере атомной энергетики. Наиболее распространенным методом является ультразвуковая дефектоскопия.

Особое внимание в ядерно-топливном цикле уделяется контролю над отработавшим ядерным топливом (ОЯТ). Это связано с тем, что данные вещества представляют высокую радиационную опасность для человека и окружающей среды. Для выполнения условий обеспечения радиационной безопасности необходимо гарантировать нераспространение радионуклидов отработавшего топлива. Это условие обеспечивается герметичностью контейнеров для ОЯТ.

Основной проблемой на сегодняшний день является повышение качества ультразвукового контроля для мониторинга сварных соединений контейнеров. Поэтому актуальность данной работы состоит в совершенствовании метода УЗК, повышающих точность определения размеров дефектов для предотвращения радиационного загрязнения в результате утечек.

Целью данной работы является разработка высокоэффективного алгоритма ультразвуковой визуализации при обнаружении дефектов для компонентов АЭ с использованием методов синтезированной апертуры и фазированных антенных решеток для контроля сварных соединений контейнера с облученным ядерным топливом.

Задачи:

- Изучение нормативно-правового обеспечения контроля качества сварных швов ультразвуковым методом.
- Определение теоретических основ разрабатываемого алгоритма.
- Разработка алгоритма в программной среде MATLAB с учетом преобразований УЗ-волны в объекте контроля.
- Проверка эффективности разработанного алгоритма с использованием программного пакета CIVA.
- Экспериментальная апробация разработанного алгоритма с использованием стандартного образца.
- Дефектоскопия реального образца со сварным швом и реконструкция его внутренней структуры.

## **1 Литературный обзор**

### **1.1 Обеспечение безопасности компонентов атомной энергии**

Использование атомной энергии, как и любая другая деятельность, сопровождается определенными рисками и, при несоблюдении правил, представляет реальную опасность. Для обеспечения нормального функционирования всех систем ядерно-топливного цикла необходимо руководствоваться определенными правилами и законами Российской Федерации. Федеральный закон №170 от 21 ноября 1995 года «Об использовании атомной энергии» является основополагающим документом в области обеспечения ядерной, радиационной, пожарной и технической безопасности [1]. Важным фактором гарантии технической безопасности является своевременный контроль состояния ответственных компонентов ядерно-топливного цикла.

В виду высокой опасности последствий в случае нарушений в ядерно-топливном цикле, всем компонентам присваиваются высокие требования безопасности. И при определении качества компонентов ЯТЦ руководствуются Постановлением Правительства от 15 июня 2016 года №544 «Об особенностях оценки соответствия продукции, для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии, а также процессов ее проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации и захоронения» [2].

Жесткий контроль качества всех компонентов атомной энергетики диктуют Нормы и правила обеспечения безопасности объектов ядерно-топливного цикла (НП-016-05) [3]. НП-090-11 устанавливают требования к структуре, содержанию и порядку разработки программ обеспечения качества для объектов использования атомной энергии. Данные программы содержат в себе раздел с описанием процедур планирования и выполнения технического контроля, в том числе и неразрушающего, а также аттестации технологии

ведения сварочных работ, методик контроля и диагностики оборудования (глава IV, пункт 20) [4].

### **1.1.1 Нормативно-правовая база в области обеспечения оценки качества компонентов производства атомной энергии**

Особое внимание в ядерно-топливном цикле уделяется контролю над отработавшим ядерным топливом (ОЯТ). Это связано с тем, что данные вещества представляют высокую радиационную опасность для человека и окружающей среды. Правила обеспечения безопасности при транспортировании и хранении ядерного материала прописаны в НП-061-05. Настоящие Правила устанавливают требования безопасности к оборудованию для хранения и транспортирования отработавшего ЯТ, в том числе: чехлам, стеллажам для хранения, упаковкам, пеналам [5].

Требования безопасности оборудования в пунктах сухого хранения ОЯТ (ПСХОЯТ) представлены в НП-032-02. Документ устанавливает требования, характерные для ПСХОЯТ, в связи с их возможным радиационным воздействием на работников (персонал), население и окружающую среду [6].

Для выполнения условий обеспечения радиационной безопасности необходимо гарантировать нераспространение радионуклидов отработавшего топлива. Это условие обеспечивается герметичностью контейнеров для ОЯТ и закреплено в ОСТ 95 10585-2003 [7]. Надёжность конструкции должна быть рассчитана на эксплуатацию без нарушений на период до 50 лет.

Для выполнения условий надёжности в долговременной перспективе необходимо проводить своевременный мониторинг состояния герметичности пеналов с ОЯТ, а для этого важен контроль сварных соединений и их качество согласно требованиям ОСТ 95-39-2002 [8].

Проверка состояния сварных швов не должна нарушать их свойств, и данному требованию отвечает метод неразрушающего контроля.

## 1.2 Неразрушающий контроль сварных соединений

Основными методами, применяемыми на предприятиях ЯТЦ для контроля качества сварных соединений являются:

- контроль оптическим методом;
- контроль проникающими веществами;
- контроль радиационным методом;
- контроль акустическим методом.

Оптический контроль обладает простотой выполнения и дешевизной исполнения. Метод основан на применении электромагнитного излучения оптического диапазона. Крупные поверхностные дефекты можно определить визуально, также определяют отклонение от формы, цвета, размера. Более мелкие трещины наблюдаются с помощью увеличительных устройств – лупы, эндоскопы (в случае появления дефектов внутри полостей). Данному контролю подвергаются прозрачные объекты. В данном виде контроля используют интерференцию и дифракцию. Однако оптический метод обладает невысокой чувствительностью и достоверностью.

В отличие от методов, использующих для контроля различные виды излучений, метод контроля проникающими веществами применяет проникающую жидкость, которую наносят на очищенную поверхность, где она заполняет полости поверхностных дефектов. Затем жидкость удаляют, а оставшуюся в полостях дефектов часть обнаруживают путем нанесения проявителя, который адсорбирует жидкость, образуя индикаторный рисунок. Эти методы применяют в цеховых, лабораторных и полевых условиях, как при положительных, так и при отрицательных температурах. Метод обладает высокой чувствительностью и во многих случаях является единственно возможным для дефектоскопии немагнитных материалов. Однако данный метод имеет определенную токсичность и может быть опасен для персонала [9].



Наиболее опасным методом контроля является радиационный метод, который работает при взаимодействии проникающих излучений с контролируемым объектом. Проникающие излучения (рентгеновское, потока нейтронов,  $\gamma$ - и  $\beta$ -лучей), проходя через толщу материала детали и взаимодействуя с его атомами, несут различную информацию о внутреннем строении вещества и наличии скрытых дефектов внутри контролируемых объектов. Метод основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в радиографический снимок или запись этого изображения на запоминающем устройстве с последующим преобразованием в световое изображение.

Радиационные методы неразрушающего контроля применяют для контроля качества сварных и паяных швов, качества сборочных работ. Данным методом нельзя обнаружить весьма опасные тонкие усталостные трещины. Они относятся к наиболее дорогим методам контроля, это связано с длительностью операций контроля, а также необходимостью капитальных затрат на оборудование и помещения [10-11].

Акустический вид НК основан на регистрации параметров упругих волн, возникающих или возбуждаемых в объекте. В отличие от всех ранее рассмотренных методов здесь применяют и регистрируют не электромагнитные, а упругие волны, параметры которых тесно связаны с такими свойствами материалов, как упругость, плотность, анизотропия (неравномерность свойств по различным направлениям) и др. Применяется метод ко всем материалам, достаточно хорошо проводящим акустические волны: металлам, пластмассам, керамике, бетону и т.д. По используемой частоте различают звуковые и ультразвуковые частоты.

Для возбуждения волн звукового диапазона кроме пьезопреобразователей применяют ударное воздействие, а для приема – микрофоны.

Ультразвуковые методы используют упругие волны ультразвукового диапазона (с частотой колебаний выше 20 кГц). Эти волны возбуждаются и

принимаются, как правило, пьезопреобразователями. Учитывая сильное отражение ультразвука от тончайших воздушных зазоров, для передачи волн от пьезопреобразователя к изделию используют жидкостный контакт [9].

С помощью акустического НК:

- выявляют дефекты типа нарушения сплошности (поры, неметаллические включения, трещины различных видов, непровары, и др.);
- контролируют геометрические размеры изделий (толщины труб, прутков, листов и др., имеющих односторонний доступ).

Другие методы контроля качества сварного шва существенно проигрывают ультразвуковому контролю (УЗК) в высокой скорости и точности исследования, при этом метод не повреждает исследуемый объект, безопасен для человека (в отличие, к примеру, от радиодефектоскопии). Не уступает оптическому НК в оценке применимости при определении размеров. В связи с этим, методы ультразвукового контроля нашли широкое распространение в различных областях промышленности. Наиболее применимыми методами являются: теневой метод, временной теневой метод, эхо-метод, эхо-зеркальный метод и дельта-метод.

### **1.3 Методы УЗК**

Теневой метод – основан на ослаблении звуковых волн, проходящих через дефекты в теле объекта. Дефекты в этом случае создают ультразвуковую «тень». В данном методе используются два преобразователя, один из которых излучает УЗК, а второй принимает их (рисунок 1, в, г). Однако данный метод малоэффективен, так как во-первых при небольшом дефекте изменение интенсивности сигнала незначительно, и может не проявиться в преобразователе-приемнике (дефект заметен при изменении сигнала на 15-20%), а во-вторых невозможно определить глубину залегания дефекта. Кроме того, контроль затруднен при разной толщине объекта [12].

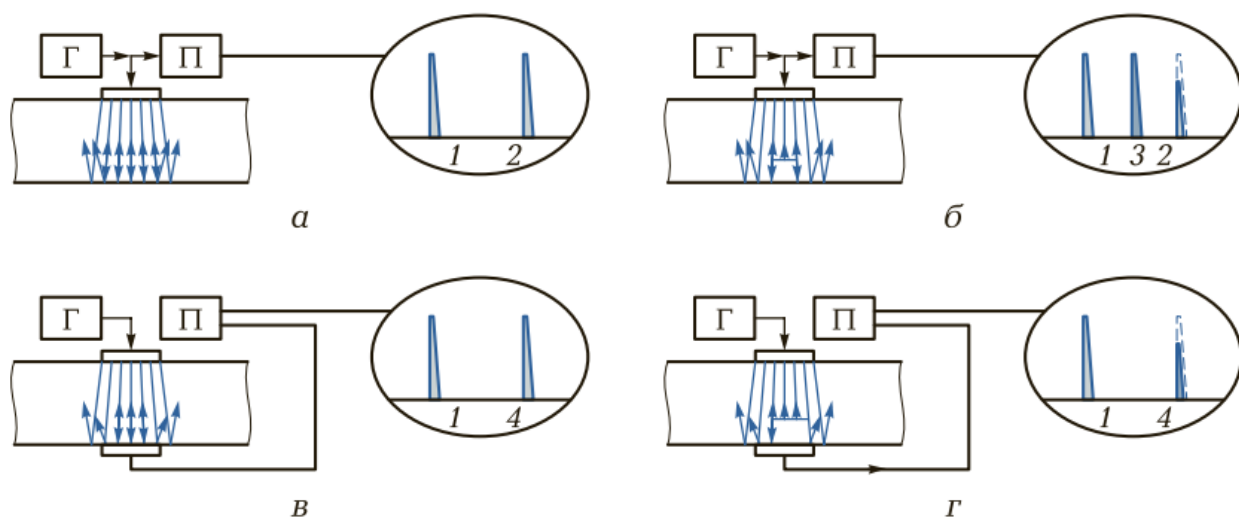


Рисунок 1 – Схемы прохождения коротких ультразвуковых импульсов при эхо-импульсном (а, б) и теновом (в, г) методах контроля сварных соединений.

а, в – при отсутствии дефекта; б, г – при наличии дефекта; 1 – короткий импульс ультразвука; 2, 3 – эхо-сигналы; 4 – сигнал с уменьшенной амплитудой; Г – генератор зондирующих импульсов; П – приемник

Для контроля бетона или огнеупорного кирпича используется временной теневой метод, основанный на измерении временного запаздывания УЗ импульса при огибании дефекта.

В эхо-методе преобразователь является генератором УЗК и одновременно приемником. Это позволяет проводить контроль объектов не имеющих двусторонний контроль. Суть метода состоит в том, чтоб «прозвучить» объект контроля ультразвуковыми импульсами и зарегистрировать эхо-сигнал от дефектов. Признаком наличия такового служит появление эхо-сигнала 3 на экране дефектоскопа (рисунок 1, а, б). Кроме того, чувствительность эхо-метода значительно выше тенового (приемник различает изменение сигнала на 1% [12]). Данный метод позволяет определить координаты залегания дефекта (относительно преобразователя), а также его размеры (по амплитуде отраженного сигнала), тип и форму (по спектральному составу отраженного импульса).

Разрешающая способность (минимальное расстояние между дефектами по глубине, при котором эхо-сигналы воспринимаются приемником раздельно) метода определяется длительностью импульса. В эхо-методе разрешающая способность равна длительности зондирующего импульса.

Однако повышение частоты имеет определенный предел, сверх которого короткие волны начинают отражаться от границ кристаллических зерен металла, что приводит к появлению помех. Кроме того, с увеличением частоты возрастает затухание УЗК.

Для обнаружения вертикальных дефектов используется модификация эхо-метода – эхо-зеркальный метод. В нем применяется два детектора, расположенных под углом к поверхности объекта. Так как площадь дефекта в сечении, перпендикулярном вводимому наклонному лучу значительно превышает площадь нормального к поверхности сечения дефекта, то повышается вероятность обнаружения и чувствительность контроля [13].

Также для выявления вертикально-ориентированных трещин применяют дельта-метод, изображенный на рисунке 2, использующий рассеяние УЗК на дефектах. Аналогично эхо-зеркальному методу в дельта-методе используют два датчика, один из которых (1 на рисунок 2) расположен наклонно и вводит в изделие УЗК так, чтоб колебания распространялись вдоль объекта контроля. Второй датчик-приемник (3 на рисунок 2) сканирует поверхность изделия. УЗК от дефекта В будут отражаться в различных направлениях, и часть из них будет зарегистрирована приемником. Данный метод позволяет получить визуальное распределение дефектов в объекте [12].

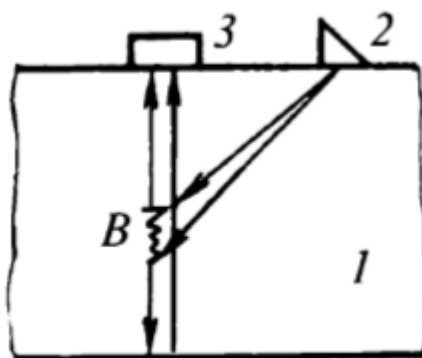


Рисунок 2 – Схема прохождения импульсов при дельта-методе.

1 – объект контроля; 2 – излучатель; 3 – приемник; В - дефект

### 1.3.1 Недостатки эхо-метода УЗК

Основной недостаток ультразвуковой дефектоскопии – косвенный способ определения параметров дефектов, который далеко не всегда адекватно характеризует их реальные размеры [14]. Для определения опасности дефекта применяется такая характеристика, как «условные размеры». Ошибки в 1,5 – 2 раза в оценке величины небольших дефектов признаются вполне удовлетворительным результатом, соответствующим возможностям метода [15]. Например, условная протяженность дефекта измеряется обычной линейкой, как расстояние между двумя позициями преобразователя, выдающих амплитуду эхо-сигнала контрольного уровня [16]. Однако если дефект вызван усталостным разрушением материала (в процессе эксплуатации), тогда шероховатая поверхность (состоящую из множества мелких неоднородностей) сильно рассеивает ультразвуковые волны, и амплитуда эхо-сигналов значительно ниже, чем от гладких дефектов. Это приводит к заниженным результатам и неверному определению опасности дефекта.

Эксплуатация ядерных установок также связана с необходимостью использования методов ультразвукового контроля. Преимущественно для контроля сварных соединений.

### 1.3.2 Проблемы контроля в технологии сварки

Качественными являются те сварные соединения, основной металл и сварной шов которого отвечает требованиям надежности и безопасности его эксплуатации в течение установленного времени. Для проверки данных требований используют различные способы контроля, но основным является неразрушающий контроль. Данный метод позволяет обнаружить дефекты, снижающие качество сварного шва, не деформируя его.

Распространенным методом неразрушающего контроля сварных швов является ультразвуковая дефектоскопия. Другие методы контроля качества сварного шва, такие как радиодефектоскопия или капиллярный метод трудноприменимы для определения дефектов в сварных швах контейнеров ОЯТ.

Ультразвуковой контроль в технологии сварки имеет ряд особенностей. Прозвучивание наплавленного металла и околошовной зоны осуществляется с поверхностей прилегающих деталей. Для этого используются наклонные ультразвуковые преобразователи или призмы из известного материала. Контроль осуществляется в стесненных условиях, когда выявление дефектов производится не только прямым прозвучиванием, но и лучами, отраженными от донной стенки детали. В сварных соединениях наблюдается ряд эхосигналов от конструктивных особенностей шва, которые попадают в зону контроля [16]. Данные факторы усложняют анализ полученных изображений, и возникают проблемы распознавания эхосигналов от дефектов.

Для ультразвуковой волны характерны следующие явления [16]:

- Отражение. Звуковая энергия отражается от границы двух сред с различными скоростями звука и плотностями, при этом угол отраженной волны равен углу волны падающей.

- Преломление. Изменение направления распространения звуковой волны при переходе через границу раздела сред с различными скоростями звука.

– Затухание. Уменьшение амплитуды или интенсивности в результате вязкого поглощения (в любых материалах) и рассеяния (в поликристаллических материалах).

– Дисперсия. Звуковые волны самой различной частоты могут распространяться с различными скоростями.

– Интерференция. Суперпозиция двух или более волн одной частоты может привести к появлению нового волнового фронта.

– Дифракция. Способность волн рассеиваться на границах малых дефектов (например, на концах трещин).

– Поляризация. Направление колебаний частиц в волне, относительно направления распространения энергии волны.

– Трансформация. Преобразование типа колебаний (моды).

С помощью ультразвукового контроля выявляют дефекты типа нарушения сплошности – поры, неметаллические включения, трещины различных видов, непровары, и другие.

Особо опасными дефектами являются сварочные трещины, возникающие обычно в процессе остывания сварного соединения [16]. Они могут резко снижать прочность изделия, особенно при циклических перегрузках. Трещины бывают продольными, поперечными, разветвленными, радиальными и кратерными.

Трудность ультразвукового контроля трещин заключается в их строении – зачастую они имеют неровные поверхности, вызывающие диффузное отражение распространяющихся в металле ультразвуковых волн. Это происходит в случае, если поверхность раздела двух сред имеет неровности, размерности которых соизмеримы с длиной волны.

### **1.3.3 Повешение качества УЗК**

В конце 80-х годов, во время уменьшения военной напряженности, стала открыта информация о военной технике, в том числе о радиолокационных

технологиях применяемых в военных целях. Военные технологи добились повышения качества изображений путем применения многоэлементных ультразвуковых преобразователей. На основе этих достижений были созданы фазированные антенные решетки [16].

Фазированные антенные решетки (ФАР) – новый тип преобразователей, существенно отличающийся тем, что их характеристиками (типами возбуждаемых волн, углами ввода и т.д.) можно управлять с помощью компьютера по заданным программам.

Фазированными решетками называют пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) в виде групп излучающих и (или) принимающих ультразвуковые волны элементов, расположенных на определенном расстоянии друг от друга (так называемом Pitch size). Возбуждающие электрические импульсы падают на элементы решетки со сдвигом во времени. Аналогичные сдвиги для каждого принимающего элемента вводят и в приемный тракт. Различают линейные, двухмерные и кольцеобразные ФАР, а в производстве чаще всего применяют линейные. Состоят линейные ФАР из идентичных пьезоэлементов, расположенных в линию, число которых обычно равно  $2^n$ . На рисунке 3 показаны схемы возбуждения элементов ФАР импульсами с различными задержками для излучения УЗ волны под углом к поверхности изделия.

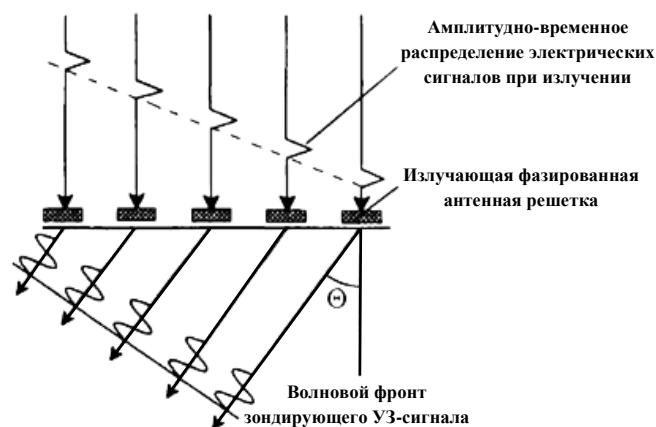


Рисунок 3 – Линейная ФАР для секторного сканирования. Формирование зондирующего УЗ-сигнала



Применение ФАР расширяет возможности УЗ-контроля изделий сложной формы, упрощает работу и повышает производительность [17].

#### **1.3.4 Визуализация внутренней структуры объекта контроля**

Одним из наиболее перспективных путей решения задач ультразвукового контроля, связанных с повышением требований к достоверности, является применение методик и приборов, визуализирующих внутреннюю структуру обследуемого изделия. Представление данных о внутреннем строении сварных швов в виде двумерного изображения позволяет не только определить местоположение дефекта, но и измерить его форму, размеры, а, следовательно, определить его опасность для производства. Одной из методик визуализации является использование томографической аппаратуры.

В традиционной ультразвуковой дефектоскопии применяется исключительно механическое сканирование внутренней структуры объекта контроля. Данная методика проста и заключается в том, что выполняется физическое перемещение преобразователя по поверхности объекта контроля. Из каждого положения преобразователя производится излучение и прием ультразвуковых сигналов.

А в ультразвуковой томографии с применением ФАР, основанной на импульсном эхо-методе, используются три вида сканирования и их сочетания:

- механическое сканирование – перемещением по поверхности объекта ультразвукового преобразователя с широкой диаграммой направленности с вводом в аппаратуру данных о координатах текущего положения преобразователя;
- электронное сканирование – физически сформированным пучком ультразвука фазированной антенной решеткой;

– виртуальное сканирование – осуществляемое вычислительным путем с использованием набора сигналов, полученных при просвечивании изделия элементами ФАР [18].

Универсальным способом повышения качества изображений является сочетание механического и виртуального сканирования. Алгоритм состоит из процесса совместной пространственно-временной обработки всех сигналов, принятых преобразователем из всех его положений на поверхности объекта, и дальнейшего синтеза ультразвуковой апертуры больших волновых размеров. Результатом является реконструкция изображения внутренней структуры объекта. Причем синтезируемая апертура виртуально (т. е. после регистрации сигналов) фокусируется в каждую точку визуализируемой области [14]. Такой метод обзора пространства и получения его изображения называют методом синтезированной фокусируемой апертуры, в англоязычной литературе «Synthetic Aperture Focusing Technique» («SAFT») [18]. По сути никакого сканирования нет, элементы антенной решетки излучают и принимают рассеянный ультразвук, а программные коды реконструируют двумерное изображение.

### **1.3.5 Метод SAFT**

Алгоритм фокусированной синтезированной апертуры основан на обработке информации об амплитуде эхо-сигналов и времени их прихода в каждую точку приемной апертуры.

На рисунке 4 представлено изображение объекта контроля, разбитого на пиксели, фазированная антенная решетка с  $i$ -ым и  $j$ -ым элементом и трапецевидная призма. Ультразвуковой луч выходит из  $i$ -го элемента, достигает заданного пикселя с координатами  $(x_p, z_p)$ , и отраженный луч регистрируется  $j$ -ым элементом

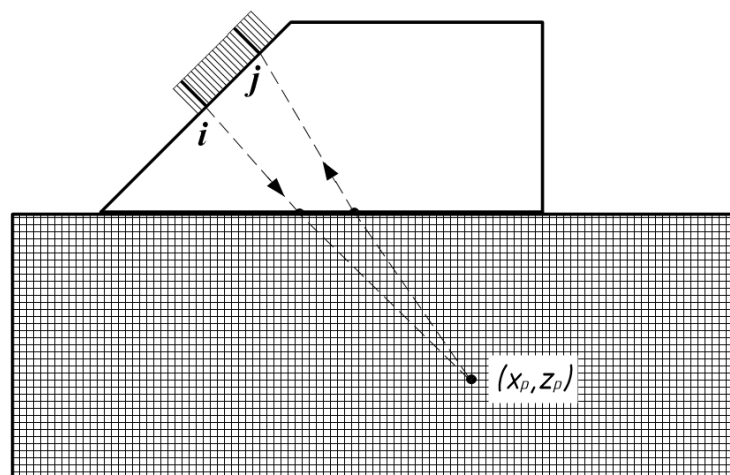


Рисунок 4 – Реализация метода SAFT

Акустический преобразователь (ФАР) с широкой диаграммой направленности перемещается по поверхности контролируемого изделия. В каждой точке апертуры сканирования выполняется излучение и прием УЗ волн. При этом, для каждой точки апертуры  $i$ ,  $j$  определяется время  $\tau$  прохождения импульса, отраженного от рассеивателя. Данное время используется для поиска амплитуд на А-скане, соответствующих заданному пикселю. Суммарный массив данных, полученный от разных приемников сигнала (ФАР) для пикселей, в дальнейшем используется для получения изображения внутренней структуры объекта контроля.

### 1.3.6 Полноматричный захват

В случае использования в качестве преобразователя фазированных антенных решеток применяется режим Full Matrix Capture («Полноматричный захват») [19, 20]. FMC особый процесс сбора данных, в котором каждый из  $N$  элементов последовательно используется в качестве передатчика, в то время как все остальные элементы используются приемниками. Полученные данные собираются в матрицу  $S$ , содержащую все полученные сигналы. Матрица  $S_{ij}$  содержит сигнал, передаваемый элементом  $i$  и принимаемый элементом  $j$ . Этот принцип визуализации был запатентован в России в 1994 году [21].

Согласно справочному пособию «Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения», метод синтезированной апертуры, это эхо-метод, основанный на создании сфокусированного акустического поля в заданных областях объекта контроля путем сканирования его преобразователем с широкой диаграммой направленности и когерентной обработки принятых сигналов [9].

### 1.3.7 Метод полной фокусировки

В методе полной фокусировки (Total Focusing Method) луч фокусируется в каждой точке области мишени, как показано на рисунке 5.

На данный момент этот метод очень редок в использовании на производствах т.к. для его реализации необходимы большие вычислительные мощности, однако он может быть хорошо применен для пост-обработки сигналов и единственным ограничивающим фактором является время вычисления.

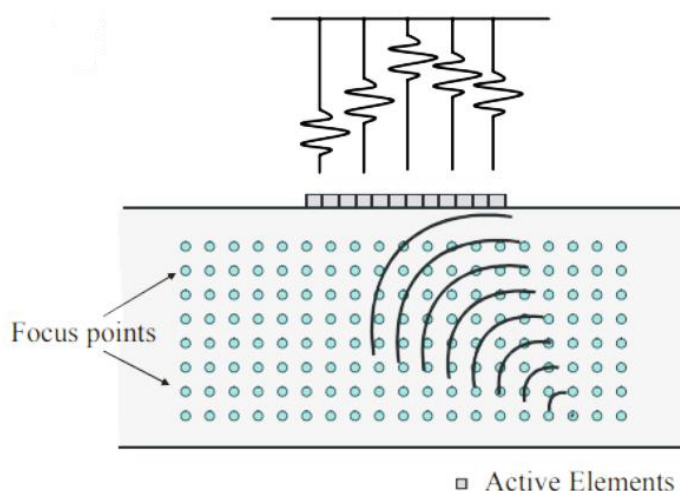


Рисунок 5 – Схема фокусировки эхо-сигнала в TFM

Алгоритм пост-обработки TFM выполняется сначала дискретизацией целевой области (в плоскости  $x, z$ ) в сетку. Затем сигналы от всех элементов массива суммируются, чтобы синтезировать фокус в каждой точке сетки. Интенсивность изображения  $I(x, z)$  в любой точке сканирования определяется формулой (1):

$$I(x, z) = \left| \sum h_{tx,rx} \left( \frac{\sqrt{(x_{tx} - x)^2 + z^2} + \sqrt{(x_{rx} - x)^2 + z^2}}{c_1} \right) \right|, \quad (1)$$

где  $c_1$  – скорость звука; в числителе путь, пройденный сигналом до дефекта;  
 $x_{tx}$  – путь, пройденный сигналом до дефекта;  
 $x_{rx}$  – путь, пройденный сигналом от дефекта;

$h_{tx,rx}$  – коэффициент, полученный после комплексного преобразования Гильберта.

Для данного метода необходима линейная интерполяция дискретных сигналов во временной области. Это суммирование выполняется для каждой возможной пары передатчик-приемник и поэтому использует максимальный объем информации, доступной для каждой точки [22].

### 1.3.8 Метод регистрации отраженных лучей

На протяжении долгого времени регистрация дефектов производится прямыми лучами рисунок 6А. Однако данный способ не гарантирует обнаружение всех дефектов, некоторые из них могли не попасть в область прямого луча и не зарегистрироваться датчиком.

Другим способом обнаружения дефектов является регистрация отраженных лучей рисунок 6Б. Различают однократно, двукратно и многократно отраженные лучи, их траектории представлены на рисунке 7.

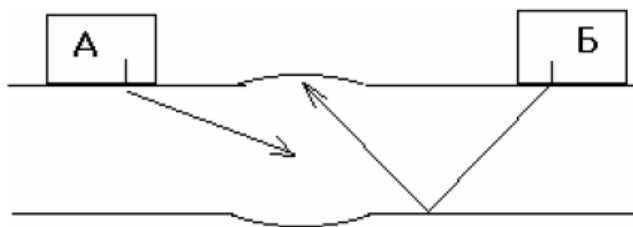


Рисунок 6 – Схемы прозвучивания стыковых сварных соединений эхометодом.

А – прямыми лучами преобразователя, Б – отраженными лучами

Для получения более точных изображений дефектов направление луча по возможности выбирают близким к нормали к такому сечению, в котором площадь ожидаемых дефектов максимальна. Для этого применяют разного рода призмы с известным углом наклона, так же использование призм упрощает подготовку поверхности контролируемого объекта к контролю.

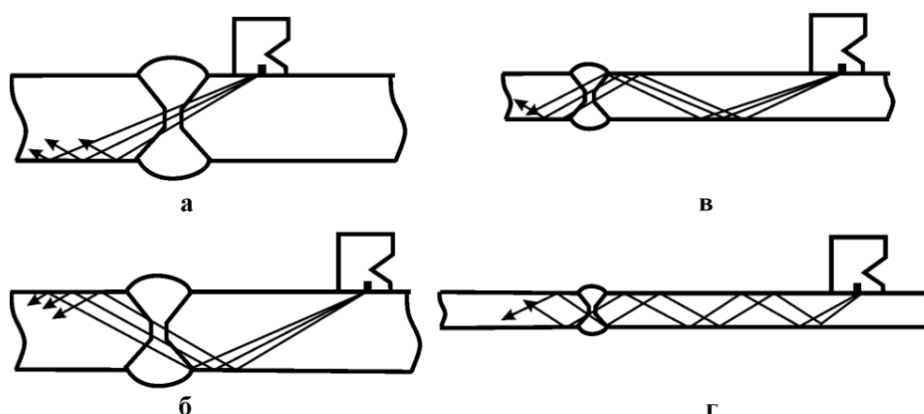


Рисунок 7 – Способы прозвучивания металла шва лучом: а – прямым; б – однократно отраженным; в – двукратно отраженным; г – многократно отраженным

При наклонном падении продольной акустической волны на границу раздела двух сред, вместе с отражением возникает явление преломления и трансформации ультразвуковых волн. Проявляются преломленные и отраженные продольные волны, а также сдвиговые поперечные волны [23].

На рисунке 8 (а) показано, что падающая под углом  $\beta$  волна  $C_{11}$  разделяется на преломленную  $C_{12}$  и поперечную  $C_{t2}$ , которые распространяются в металле. Отраженная волна на рисунке не показана. При определенном критическом значении угла падения  $\beta = \beta_{кр1}$ , преломленная продольная волна перестает проникать вглубь металла и будет распространяться только на поверхности металла (схема в рисунок 7). Такое явление широко используется на практике при ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений для генерирования в контролируемых сварных швах акустических волн определенного типа [24].

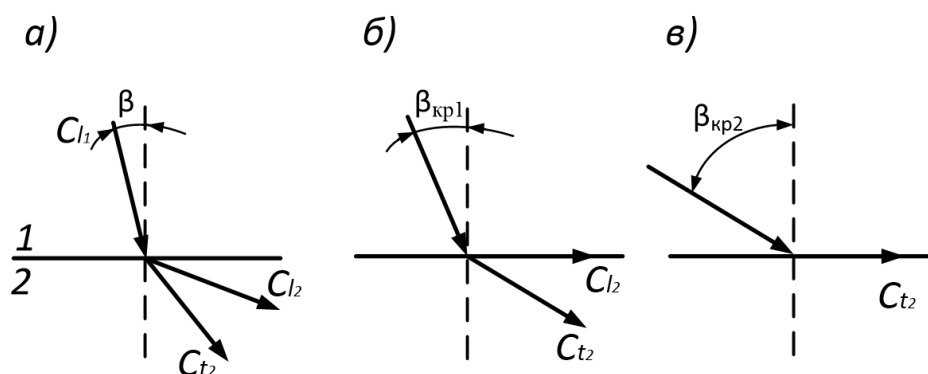


Рисунок 8 – Трансформация наклонно падающей ультразвуковой волны

На практике при проведении УЗК сварных швов используют призмы, которые помещают между преобразователем и объектом контроля. Такой метод приводит к преломлению ультразвуковых волн на границах раздела двух сред (призма-объект) и изменению траектории распространения волны, как изображено на рисунке 9. В координате  $(0;0)$  располагается центр датчика, находящегося на призме, предполагаемый дефект находится в  $(x;y)$ , точка входа ультразвуковой волны в объект контроля  $(x_1;y_1)$ , отражение ультразвуковой волны от дна происходит в точке  $(x_2;y_2)$ .

При реконструкции изображения одной из сложных задач, с вычислительной точки зрения, является нахождение траектории прохождения ультразвука от пьезоэлектрического излучателя до выбранной точки контроля. Необходимость этого процесса связана с тем, что контролируемый объект разбивают на локальные области и считают каждую из локальных областей в качестве точечного сосредоточенного отражающего элемента. Принятые каждым пьезопреобразователем антенной решетки эхосигналы сдвигают назад во времени на величину, равную времени распространения отраженной волны от рассматриваемой локальной области до соответствующего пьезопреобразователя антенной решетки. Затем суммируют сдвинутые во времени сигналы всех пьезопреобразователей антенной решетки соответственно для каждой из рассматриваемых областей.



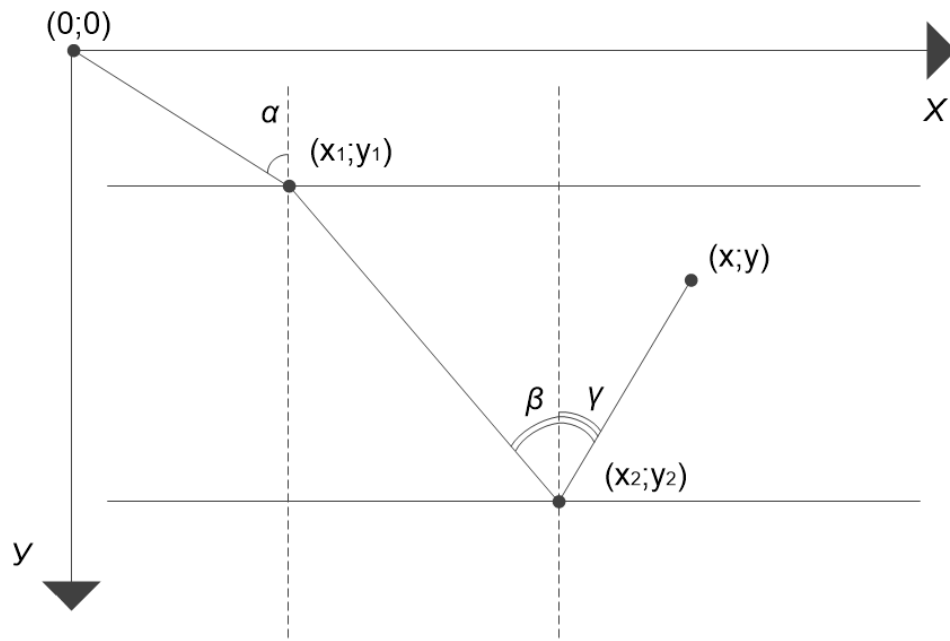


Рисунок 9 – Траектория распространения ультразвуковой волны и ее отражение от дна объекта контроля

Процесс прохождения и преломления волн через границу сред описывается Законом Снеллиуса. Зная скорости волн в применяемых для УЗК средах, расчет времени осуществляется по формуле (2):

$$T = \frac{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + l_1^2}}{c_1} + \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + l_2^2}}{c_2} + \frac{\sqrt{(x_3 - x_2)^2 + l_3^2}}{c_2}, \quad (2)$$

где  $c_1$  – скорость ультразвука в контактном веществе;

$c_2$  – скорости ультразвука в объекте контроля при входе в него и при отражении от дна;

$l_1$  – высота положения преобразователя;

$l_2$  – толщина объекта контроля;

$l_3$  – высота дефекта от дна;

$\alpha$  – угол падения ультразвука на поверхность объекта контроля;

$\beta$  – угол преломления ультразвука в объекте контроля;

$\gamma$  – угол отражения ультразвука от дна объекта контроля ( $\gamma = \beta$ ).

Таким образом, использование алгоритмов постобработки сигналов, основанных на методе синтезированной апертуры, позволяет получать синтезированное изображение внутренней структуры объекта контроля.

### 1.3.9 Описание обозначений акустических схем

В общем случае объект контроля имеет верхнюю и нижнюю границы (границы раздела двух сред), от которых могут отражаться ультразвуковые импульсы. Под акустической схемой подразумевается описание траектории лучей с учётом отражения ультразвуковых импульсов от дна и поверхности объекта контроля при излучении и приёме [23]. Для описания акустических схем используются обозначения, представленные в таблице 1.1:

Таблица 1.1 – Условные обозначения ультразвуковых волн

Обозначение	Событие/тип волны
<b>rs</b>	Преломление ультразвукового луча на поверхности или отражение от поверхности
<b>rb</b>	Отражение ультразвукового луча от дна
<b>d</b>	Отражение ультразвукового луча от дефекта
<b>L</b>	Продольная волна
<b>T</b>	Поперечная волна

#### **4      Финансовый      менеджмент,      ресурсоэффективность      и ресурсосбережение**

Во время работы над научно-исследовательскими проектами ученые не только занимаются поиском новых решений, созданием уникального продукта или технологии, но и оценивают коммерческий потенциал исследования. Данная работа необходима в первую очередь для поиска источников финансирования и потенциальных покупателей продукта. Всё это, чаще всего, позволяет ускорить процесс проведения научного исследования и коммерциализацию его результатов. От коммерческой привлекательности также зависит и перспективность научного исследования, его выход на рынок и реализация исследования как запатентованного продукта.

Еще одна важная составляющая исследовательской работы это ресурсоэффективность и ресурсосбережение проекта. Использование основ и принципов управления проектами позволит оптимально использовать необходимые ресурсы, такие как время, финансовые потоки и др.

Поэтому основной целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является выявление перспектив и успеха разработки научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение целей данного раздела обеспечивается решением таких задач, как:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;

– определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной диссертации представлена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследования с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения при разработке алгоритма ультразвуковой томографии для реконструкции изображения внутренней структуры компонентов атомной энергетики. В традиционном методе ультразвукового контроля используется специальная аппаратура, позволяющая найти дефект по амплитуде эхо-сигнала. Данный метод является относительным, так как дефекты определяются косвенно.

#### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Результатом исследования является разработанная методика контроля сварных соединений, отличительная особенность которой состоит в точном определении размеров дефектов, так называемый количественный ультразвуковой контроль.

И для уточнения дальнейших направлений исследования проводится анализ потребителей результатов работы. Для этого необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментацию.

Предложенный метод реконструкции может быть использован в любой отрасли промышленности, где обязательной процедурой является контроль ответственных компонентов, однако целевым рынком являются предприятия атомной отрасли.

Анализ потребительского рынка, относимого к категории коммерческих промышленных организаций, к разрабатываемой методике контроля сварных соединений выявил следующие критерии сегментирования: специфика работы системы контроля, уровень внедрения на объектах ядерно-топливного цикла.

Разработанная методика удовлетворяет актуальным потребностям в области обеспечения контроля ядерных материалов и имеет хорошую возможность получить спрос у предприятий ЯТЦ, оперирующих контейнерами с ОЯТ и РАО.

#### 4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных разработок, существующих и появляющихся на рынке, необходимо проводить систематически, так как современные исследования позволяют модернизировать и создавать новое очень часто, и рынок находится в постоянном движении. Такой анализ позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Для анализа конкурентных технических решений в рамках данной работы, помимо предлагаемого алгоритма ультразвуковой томографии компонентов АЭ (ф), сравнивается традиционный метод ультразвуковой дефектоскопии (к).

Оценка конкурентных технических решений представлена в таблице 4.1:

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

№	Критерии оценки	Вес критерия $V_i$	Баллы		Конкурентоспособность	
			$B_\phi$	$B_k$	$K_\phi$	$K_k$
1	Повышение качества контроля	0,35	5	3	1,75	1,05
2	Простота анализа данных о дефектах	0,20	5	3	1,00	0,60
3	Соотношение сигнал/шум	0,15	5	4	0,75	0,60
4	Потребность в вычислительных мощностях	0,15	3	4	0,45	0,60
5	Уменьшение человеческого фактора	0,15	5	4	0,75	0,60
	Итого:	1,00			4,70	3,45

По результатам проведенного анализа, основанного на сравнении конкурентных решений, наглядно представлено, что технические показатели традиционного ультразвукового контроля, на сегодняшний день, уступают показателям ультразвуковой томографии.

#### 4.1.2 SWOT – анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны – это конкурентоспособность научно-исследовательского проекта. Слабости – это ограничения научно-исследовательского проекта. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта. Угрозы представляют собой любые нежелательные ситуации, тенденции или изменения в условиях окружающей среды проекта. В таблице 4.2 представлен результат по проведенному анализу.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1. Актуальность выбранной темы С2. Повышение точности результатов контроля С3. Широкая сфера применения метода (контроль сварных швов) С4. Совершенствование устаревшей технологии без изменения приборов контроля	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл.1. Высокая стоимость Сл.2. Обработка массива данных в программном коде требует вычислительные мощности Сл.3. Ограниченная точность
<b>Возможности:</b> В1. Внедрение метода в производственные процессы предприятий АЭ В2. Финансирование со стороны государства В3. Применение на объектах других отраслей	1) Качественно новый уровень обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных компонентов со сварными швами 2) Внедрение метода во все сферы промышленности 3) Упрощенный переход к новой технологии контроля, без замены оборудования	1) Градообразующие предприятия имеют возможность приобретения дорогостоящей аппаратуры для выполнения программных алгоритмов 2) Точность метода на порядок выше традиционного УЗК
<b>Угрозы:</b>	1) Актуальность разработки	1) Предложения от ГХК по

У1. Проблемы с финансированием У2. Неустойчивая экономическая ситуация в стране У3. Наличие подобных разработок у конкурентов У3. Неготовность предприятий к внедрению нового метода	перспективна для финансирования 2) Острая необходимость в разработки в виду опасности аварий в хранилищах ОЯТ 3) Для борьбы с конкурентами управлять ценой и качеством	внедрению метода 2) Информирование потенциальных потребителей о преимуществах данной технологии
---	--	--

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества ультразвуковой томографии преобладают над недостатками. Имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

#### **4.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации**

Для планирования будущих исследований и затрат на них полезно знать степень готовности проекта к коммерциализации. Для этого необходимо заполнить особую форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу

консультировать. Форма о степени проработанности проекта представлена в таблице 4.3:

Таблица 4.3 – Оценка готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4

Продолжение таблицы 4.3

2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	1
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	1
10	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	1
11	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	2
12	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
13	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	1



14	Проработан механизм реализации научного проекта	4	2
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ, <math>B_{\text{сум}}</math></b>	45	33

Значение суммарное значение оценок позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, суммарное значение  $B_{\text{сум}}$  степени проработанности научного проекта составляет 45, что значит перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя.

#### **4.2.1 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

При коммерциализации научно-технических проектов разработчик преследует вполне определенную цель, которая зависит от требований к коммерческому эффекту. Первым этапом представленной работы является получение финансирования на продолжение научных исследований и создание программ для проведения ультразвукового контроля с заявленными требованиями точности.

Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности.

Суть данной работы состоит в совершенствовании метода УЗК, повышающих точность определения размеров дефектов для предотвращения радиационного загрязнения в результате утечек. Лучшим методом коммерциализации для такого исследования является инжиниринг – разработка новых технологических процессов на предприятии, или усовершенствование имеющихся производственных процессов (в зависимости от базовой оснащенности производства). Выбранный метод коммерциализации позволит ускорить предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной,

именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг,

#### **4.2.2 Инициация проекта**

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта. Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

#### **4.2.3 Цели и результат проекта**

В данном разделе предоставлена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются те отрасли промышленности, сфера деятельности которых неразрывно связана с применением методов неразрушающего контроля, для подтверждения годности/качества той, или иной продукции.

Также заинтересованными сторонами являются государственные организации, предлагающие финансирование научного проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 4.4:

Таблица 4.4 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Предприятия атомной энергетики	Усовершенствованная технология неразрушающего контроля, повышенной

	точности
Министерство высшего образования и науки	Совершенно новый программный продукт, отвечающий высоким требованиям точности и надежности неразрушающего контроля

В таблице 4.5 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей:

Таблица 4.5 – Цели и результаты проекта

<b>Цели проекта:</b>	Создание ПО для ультразвуковой томографии сварных швов
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Разработанный высокоэффективный алгоритм ультразвуковой пространственно-временной обработки с использованием методов синтезированной апертуры и фазированных антенных решеток для контроля сварных соединений
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Практическая апробация разработанного алгоритма
<b>Требования к результату проекта:</b>	Повышение точности получения реальных размеров дефектов
	Эффективность применения метода на реальных объектах

#### 4.2.4 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо определить состав рабочей группы, указать роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Данная информация представлена в таблице 4.6:

Таблица 4.6 – Рабочая группа проекта

<b>ФИО</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудо-затраты, час.</b>
Долматов Д. О.	Руководитель проекта	Постановка задач, контроль их выполнения, проверка	136
Вдовенко А. Ю.	Исполнитель	Выполнение задач, поиск информации, оформление результатов	1272
ИТОГО:			1408

#### 4.2.5 Ограничения и допущения проекта

В данном разделе работы приведены все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут

реализованных в рамках данного проекта. Суммарный список ограничений указан в таблице 4.7:

Таблица 4.7 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
Бюджет проекта	322612 рублей
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта:	1.09.2017 – 14.05.2019
Дата утверждения плана управления проектом	12.02.2018
Дата завершения проекта	14.05.2019

#### 4.2.6 План проекта

В рамках планирования научного проекта построен календарный план-график. Данный график представлен в таблице 4.8. В данной работе список исполнителей включает руководителя и инженера.

Таблица 4.8 – Календарный план проекта

<b>№</b>	<b>Название</b>	<b>Длительность Т<sub>к</sub>, дни рабочие</b>	<b>Дата начала работ</b>	<b>Дата окончания работ</b>	<b>Состав участников</b>
1	Выбор направления исследований	1	31.08.17	1.09.17	Руководитель
2	Разработка технического задания на НИР	1	4.09.17	6.09.17	Руководитель, инженер
3	Утверждение технического задания	5	6.09.17	13.09.17	Руководитель
4	Календарное планирование работ	2	13.09.17	15.09.17	Руководитель, инженер
5	Подбор и изучение материалов по теме «Методы неразрушающего контроля»	53	18.09.17	17.11.17	Инженер
6	Изучение программы Mathlab	13	20.11.17	2.12.17	Инженер
7	Проведение экспериментальной части	5	4.12.17	8.12.17	Руководитель, инженер
8	Подготовка отчета по проделанной работе	11	11.12.17	22.12.17	Инженер
9	Обзор литературы по теме «ультразвуковая	22	5.02.18	3.03.18	Инженер

	дефектоскопия»				
10	Изучение программы CIVA	5	5.03.18	10.03.18	Инженер
11	Ознакомление с нормативной документацией	36	12.03.18	21.04.18	Инженер
12	Изучение статей по акустике ультразвука	16	23.04.18	12.05.18	Инженер

Продолжение таблицы 4.8

13	Проведение симуляций в программном пакете CIVA	5	14.05.18	18.05.18	Руководитель, инженер
14	Подготовка отчета по результатам симуляций	15	19.05.18	2.06.18	Инженер
15	Обзор литературы по теме «Метод SAFT»	48	3.09.18	27.10.18	Инженер
16	Формирование отчета на обзор литературы	47	29.10.18	22.12.18	Инженер
17	Разработка технического задания на выполнение магистерской диссертации	1	18.03.19	19.03.19	Руководитель
18	Утверждение технического задания	1	19.03.19	20.03.19	Руководитель
19	Изучение материала по теме «Применение фазированных антенных решеток в УЗК»	11	21.03.19	02.04.19	Инженер
20	Изучение математических моделей	3	3.04.19	6.04.19	Инженер
21	Проведение экспериментальной части	10	8.04.19	19.04.19	Руководитель, инженер
22	Обобщение и оценка результатов	6	22.04.19	27.04.19	Инженер
23	Составление пояснительной записки	5	29.04.19	4.05.19	Инженер
24	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	3	6.05.19	8.05.19	Руководитель, инженер
25	Подготовка к защите	3	10.05.19	13.05.19	Инженер
<b>И т о г о:</b>		326			
<b>Руководитель</b>		34			
<b>Инженер</b>		318			

Для иллюстрации календарного плана проекта использована диаграмма Ганта, это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График в Приложении А строился с разбивкой по месяцам и неделям за период времени выполнения научного проекта. Работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

#### **4.3 Бюджет научного исследования**

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета исследования используется следующая группировка затрат по статьям:

- затраты на специальное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- прочие прямые расходы.

##### **4.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

В данной работе к спецоборудованию, необходимому для организации работ по разработке алгоритма ультразвуковой томографии, относится программа CIVA стоимостью 3,5 млн. руб.

Затраты на амортизационные отчисления оборудования рассчитываются по формуле (38):

$$C_{\text{аморт}} = \frac{C_{\text{об}} \times N_a}{T_{\text{раб.кал.}} \times 100\%} \times T_{\text{раб.}} , \quad (38)$$

где  $C_{\text{об}}$  – первоначальная стоимость оборудования (руб.);

$T_{\text{раб.кал}}$  – количество рабочих дней в году (дни);

$N_a$  – норма амортизации (%);

$T_{\text{раб}}$  – количество рабочих дней, в течение которых использовалось оборудование (дни), 247 рабочих дней за 2018 год.

Необходимо рассчитать норму амортизации по формуле (39) с учетом срока службы оборудования, который составляет 10 лет:

$$N_a = \frac{1}{T} \times 100\% = \frac{1}{10} \times 100\% = 10\%, \quad (39)$$

где  $T$  – срок службы оборудования (года).

Таким образом, с учетом нормы амортизации (10%) и количеством работы с программой CIV4 (5 дней) затраты на амортизационные отчисления составили (40):

$$C_{\text{аморт}} = \frac{3500000 \times 10}{247 \times 100\%} \times 5 = 7085 \text{ руб.}, \quad (40)$$

Таким образом, общие амортизационные затраты проекта составляют 7085 рублей.

#### **4.3.2 Расчет основной заработной платы**

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта и дополнительную заработную плату.

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  рассчитывается по следующей формуле (41):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (41)$$



где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата зависит от графика работы сотрудника, а также соотношения рабочих и праздничных дней в году и рассчитывается по формуле (42):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}}, \quad (42)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Для определения фактического количества отработанного времени – годовой фонд рабочего времени, определяется баланс рабочего времени, приведенный в таблице 4.9:

Таблица 4.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	104	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	24	24
– невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный оклад работника определяется как:

$$З_м = З_б(k_д + k_{пр}) \cdot k_p, \quad (43)$$

где  $З_б$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент (0.3);

$k_д$  – коэффициент доплат и надбавок (0.2-0.5);

$k_p$  – районный коэффициент, (1.3).

Руководитель магистерской диссертации занимает должность заведующего лабораторией, для которой оклад составляет 21760 руб. Студент в ходе выполнения работы приравнивается к инженеру, оклад 12663 руб. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_б$ , руб.	$k_{пр}$	$k_д$	$k_p$	$З_м$ , руб.	$З_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$З_{осн}$ , руб.
Руководитель	21760	0.3	0.3	1.3	45260.8	2273.2	17	38644,2
Инженер	12663		0.2		24692.85	1151.6	159	183104.4

Общие затраты на зарплату составили 221748,6 рублей.

### 4.3.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10% от основной заработной платы, работников:

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot k_{доп}, \quad (44)$$

где  $З_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Тогда дополнительная заработная плата научного руководителя составляет 3864.42 рублей, а инженера 18310.44 рублей.

В таблице 4.11 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.11 – Заработная плата исполнителей НТИ

<b>Заработная плата</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Инженер</b>
Основная зарплата	38644	183104
Дополнительная зарплата	3864	18310
Зарплата исполнителя	42509	201415
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	243924	

#### 4.3.4 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Расчет ведется по формуле (45):

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (45)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (27,1%)

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.

По формуле (45), отчисления с заработной платы научного руководителя и инженера составляют 66103.26 рублей.

#### 4.3.5 Прочие прямые расходы

В эту статью включаются затраты на электроэнергию, так как оформление работы на персональном компьютере заняло большую часть времени. Расчет затрат производится по формуле 46:

$$C_{\text{элект}} = C_{\text{эл}} \times P \times F_{\text{об}}, \quad (46)$$

где  $C_{\text{эл}}$  – тариф на промышленную электроэнергию (5.8 руб. за 1 кВт/ч);

$P$  – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$  – время использования оборудования, ч.

Большая часть данного проекта (299 рабочих дня) включает работу персонального компьютера мощностью 45 Вт. Таким образом, затраты на электроэнергию составили (47):

$$C_{\text{элект}} = 5.8 \times 0.045 \times 954 = 249 \text{ руб.}, \quad (47)$$

где 954 – количество часов работы на ПК за 159 дней.

Так же, для поиска информации была использована сеть интернет. Стоимость одного месяца пользования составляет 350 рублей, таким образом суммарные затраты на доступ к сети за 15 месяцев составили 5250 рублей.

Итого материальные затраты за два года работы над проектом с учетом электроэнергии составили 5500 рублей.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ «Разработка алгоритма ультразвуковой томографии компонентов атомной энергетики с использованием фазированных антенных решеток на основе метода синтезированной апертуры по форме, приведенной в таблице 4.12

Таблица 4.12 – Группировка затрат по статьям

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Амортизация	7085	Пункт 1
Основная заработная плата	221749	Пункт 2
Дополнительная заработная плата	22175	Пункт 3
Отчисления на социальные нужды	66103	Пункт 4
Прочие прямые расходы	5500	Пункт 5
Бюджет затрат НТИ	322612	Сумма ст. 1 – 5

#### 4.4 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу сведена в таблицу 4.13:

Таблица 4.13 – Реестр рисков

Риск	Отмена финансирования	Появление конкурентной технологии
Потенциальное воздействие	Недостаточно ресурсов на продолжение разработок	Меньшее количество потенциальных потребителей
Вер-сть наступления (1-5)	2	4
Влияние риска (1-5)	1	3
Уровень риска	Низкий	Средний
Способы смягчения риска	Поиск дешевой рабочей силы Поиск спонсоров, грантов	Повышение качества продукции Регулирование цены
Условия наступления	Сокращение бюджета на научные исследования	Высокая актуальность темы, большое количество аналогичных исследований

#### 4.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности созданного проекта происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования представленного в таблице 4.14.

Финансовая эффективность проекта рассчитывается по формуле (48):

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (48)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Расчет интегрального финансового показателя разработки приведен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Расчет интегрального финансового показателя разработки

Вариант исполнения	Стоимость $\Phi_{pi}$ , руб	Максимальная стоимость исполнения $\Phi_{max}$ , руб	Интегральный финансовый показатель разработки $I_{финр}^{исп.i}$
Разработка	311084	2752015	0.113
Конкурент	1764100		0.640

Оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки представлена по пятибалльной системе в таблице 5.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя. Расчеты приведены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет сравнительной эффективности проекта

Вариант исполнения	Интегральный показатель ресурсоэффективности $I_{р-исп\ i}$	Интегральный финансовый показатель разработки $I_{финр\ исп.\ i}$	Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{исп\ i}$	Сравнительная эффективность проекта ( $\Theta_{ср}$ )
Разработка	4.70	0.113	41.6	7.7
Конкурент	3.45	0.64	5.4	

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволило определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

## **5 Социальная защита**

Создание и внедрение комплексной системы управления охраной труда является неотъемлемой частью успешного проведения профилактических работ по снижению уровня травматизма на производстве и уменьшению процента профессиональной заболеваемости на предприятии. Осуществляется данная система на всех стадиях производственного процесса, путем создания единой системы целенаправленных действий, посредством объединения всех проводимых мероприятий по охране труда.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [33].

Для создания безопасных условий труда и с целью предупреждения несчастных случаев работающих вводятся правила по охране труда и техники безопасности. Данные правила являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором (ОПФ), согласно трудовому кодексу [33], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором (ВПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

### **5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**



Необходимо учитывать опасные и вредные производственные факторы, которые возникают при работе на ЭВМ. Выявленные опасные и вредные факторы представлены в таблице 20. Следует отметить, что в условиях, в которых проводилась работа, отсутствует влияние опасных производственных факторов.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие ОПФ и ВПФ

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с ЭВМ	-	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [34]
	-	Пожарная и взрывная безопасность	ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации [35]

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов – физические и психофизиологические.

На инженера, работа которого связана с моделированием на компьютере, воздействуют следующие физические факторы:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой чистоты;
- освещённость;
- наличие излучения.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-

психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

## **5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПК**

### **5.2.1 Требования к ПЭВМ и организация работы**

Весь персонал, работающий на ЭВМ, обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из следующих мероприятий:

- вводный инструктаж;
- инструктаж на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, занятые обслуживанием электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

### **5.2.2 Технические мероприятия**

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования:

- высота рабочей поверхности стола 680-800 мм;
- высота рабочей поверхности для установки клавиатуры 650 мм;
- ширина рабочего стола не менее 700 мм и длина не менее 1400 мм;
- пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм [36].

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране. Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

### 5.2.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это:

- микроклимат;
- шум;
- вибрация;
- электромагнитное поле;
- освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры:

- температура,
- относительная влажность,
- скорость движения воздуха.

Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.548-96 [37] и приведены в таблице 5.2:

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и	23-25	40-60	0,1

Тёплый	23-25	40	0,1
--------	-------	----	-----

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся:

- правильная организация вентиляции;
- кондиционирования воздуха;
- отопление помещений.

Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция [38].

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения:

- влажность – 40%;
- скорость движения воздуха - 0,1 м/с;
- температура летом плюс 20-25 °С;
- зимой минус 13-15 °С.

В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок

при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [36] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Однако в работе используются жидкокристаллические экраны, которые безопасны.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

### **5.3 Электробезопасность**

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Действие электрического тока на человека носит сложный характер и чревато разнообразными последствиями. При замыкании электрической цепи через организм человека ток оказывает следующие виды воздействия:

- термическое воздействие (нагревание тканей, кровеносных сосудов, нервных волокон и внутренних органов вплоть до ожогов);
- электролитическое воздействие (разложение крови и плазмы);
- биологическое воздействие (раздражение и возбуждение живых тканей организма, нарушение внутренних биологических процессов);
- механическое воздействие (разрыв мягких тканей, вывихи суставов и переломы костей вследствие произвольных мышечных сокращений).

Электробезопасность должна обеспечиваться:

- конструкцией электроустановок;

- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа;
- принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей).

#### **5.4 Пожарная и взрывная безопасность.**

Согласно ГОСТ 12.1.004-85 [39], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;



– наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;

- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

### Список публикаций студента

1. Вдовенко А. Ю., Долматов Д.О. Применение методов синтезированной апертуры в ультразвуковой дефектоскопии с использованием фазированных антенных решеток // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий: материалы конференции в рамках Научная сессия НИЯУ МИФИ, Северск, 2-6 Апреля 2018. – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2018 – С. 32.

2. Вдовенко А.Ю., Долматов Д.О. Применение методов SAFT в ультразвуковой дефектоскопии с использованием фазированных антенных решеток // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сер. "Выпуск 22" Под общ. ред. М.В. Темлянцева. 2018. С. 123-127.

3. Вдовенко А.Ю., Долматов Д.О. Применение методов синтезируемой апертуры в ультразвуковой дефектоскопии с использованием фазированных антенных решеток // IX Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов 17 – 19 октября 2018 года, г. Томск. – Томск: Дельтаплан, 2018. – 178 с.

4. Вдовенко А. Ю., Долматов Д. О. Алгоритм пространственно-временной обработки для ультразвуковой томографии с использованием фазированных антенных решеток // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов VI Международного молодежного форума, Томск, 26-28 Апреля 2018. – Томск: ТПУ, 2018. – С. 46-48.

5. Вдовенко, А.Ю., Применение методов синтезированной апертуры в ультразвуковой дефектоскопии с использованием фазированных антенных решеток / А. Ю. Вдовенко, Д. О. Долматов, Д. А. Седнев // Известия вузов. Физика. – 2018. – Т. 61, № 12-2. – 12-15 с.

6. I. Petrov. The implementation of post-processing algorithm for ultrasonic testing of welds / I. Petrov, A. Vdovenko, D. Dolmatov, D. Sednev // Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 510, no. pp. 1-4.

7. Вдовенко А.Ю., Долматов Д.О. Разработка алгоритма ультразвуковой томографии для компонентов, применяемых в сфере атомной энергетики, с использованием компьютерных симуляций // XXVI Международная молодежная научная школа-конференция. Тезисы докладов, Москва, 8-12 Апреля 2019. – Москва: МИФИ, 2019. – 311 с.

## **Список использованных источников**

1 Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ (ред. от 03.07.2016) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1995. – № 48. – ст. 4552.

2 Постановление Правительства «Об особенностях оценки соответствия продукции, для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии, а также процессов ее проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации и захоронения» от 15.06.2016 г. №544 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2016. – № 26 – ст. 4052.

3 Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (НП-016-05) [Электронный ресурс]: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 02.12.2005 г. № 11. – Доступ из информ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4 Требования к программам обеспечения качества для объектов использования атомной энергии (НП-090-11) [Электронный ресурс]: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 07.02.2012 г. № 85. – Доступ из информ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

5 Правила безопасности при хранении и транспортировании ядерного топлива на объектах использования атомной энергии (НП-061-05) [Электронный ресурс]: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30.12.2005 г. № 23. – Доступ из информ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

6 Пункты сухого хранения отработавшего ядерного топлива. Требования безопасности: НП-035-02. – введ. 01.01.2003.

7 Отработавшие тепловыделяющие сборки энергетических реакторов. Сухое хранение ОТВС РБМК-1000 и ВВЭР-1000 технические требования: ОСТ 95 10585-2003. – введ. 01.05.2004.

8 Оборудование для работы с радиоактивными средами. Сварные соединения. Правила контроля: ОСТ 95-39-2002. – Взамен ОСТ 95 39-91; введ. 01.06.2002.

9 Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения (справочное пособие). Москва 2003 г.

10 Сударикова Е.В. Неразрушающий контроль в производстве: учеб. пособие. Ч. 1.; ГУАП. – СПб., 2007. – 137 с.

11 Методы неразрушающего контроля : учеб. пособие / С. С. Ивасев, А. В. Гирн, Д. В. Раводина ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2015. – 112 с.

12 Выборнов Б. И. Ультразвуковая дефектоскопия – М.: Металлургия, 1985 г.

13 Щербинский В.Г. Алёшин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989.

14 Бадалян В.Г., Базулин Е.Г., Вовилкин А.Х. и др. Ультразвуковая дефектометрия металлов с применением голографических методов. Под ред. А.Х. Вовилкина. – М. Машиностроение, 2008. – 368 с.

15 Овчинников В.В. Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений: учебник для студ. Учреждений сред. Проф. Образования. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2017.

16 Бархатов В.А. Развитие методов ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений. Дефектоскопия. – 2015. – №12 – С.1-33.

17 Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль: учеб. пособие / под общ. Ред. В.В. Ключева. М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 224 с.

18 Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Сканирование в ультразвуковой томографии / В мире неразрушающего контроля. Технологии НК. – 2010. – №3(49): Методы сканирования. – 7-10 с.

19 Шевалдыкин В.Г., Алехин С.Г., Бишко А.В. Заглянут в металл: теперь это просто. – В мире НК. 2008. №1(39). С. 46-53

20 Базулин Е.Г., Повышение скорости регистрации ультразвуковых эхосигналов в режиме двойного сканирования. – Дефектоскопия, 2015, № 9, 27-44 с.

21 Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. Ультразвуковая антенная решетка в виде двумерной матрицы. Патент РФ №2080592. Бюл., изобр. 1997. №15.

22 Holmes C., Bruce W., Paul D. Post-processing of the full matrix of ultrasonic transmit–receive array data for non-destructive evaluation // Elsevier. – 2005 г. – №38 – 701-711 с.

23 Белевитин, В.А. Ультразвуковой контроль технологий конструкционных материалов [Текст]: учебное пособие / Белевитин В.А. – Челябинск: Изд-во «Библиотека А. Миллера», 2018, – 64 с.

24 Базулин Е.Г., Восстановление изображения отражателей в неоднородной изотропной среде при проведении ультразвукового контроля. – Дефектоскопия, 2016, № 8, 9-29 с.

25 Ультразвуковой контроль сварных швов. Ультразвуковая дефектоскопия сварки [Электронный ресурс]: офиц. сайт. – Taina-svarki. – Режим доступа: <http://taina-svarki.ru/kachestvo-i-kontrol-svarki/kontrol-svarnyh-soedineniy/ultrazvukovoy-kontrol-svarnyh-shvov.php>, свободный, - язык русский, дата обращения: 19.05.2018.

26 Алешин Н.П., Белый В.Е., Вopilкин А.Х. и др. Методы акустического контроля металлов. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2000. – 496 с.

27 Чертищев В.Ю., Генералов А.С. Повышение производительности ультразвукового контроля изделий с плоскопараллельными границами цифровой фокусировкой антенных решеток методом C-SAFT // Труды ВИАМ. 2016. № 10 (46). 10 с.

28 Бархатов В.А. Развитие методов ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений. Дефектоскопия, 2015. – №12 – С.1-33.

29 Квасников К. Г. Применение метода геометрической акустики для решения задач визуализации. Дефектоскопия, 2013. – № 11. – С. 21-26.

30 Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 2003. – 832 с.

31 Bram de Greve. Reflections and Refractions in Ray Tracing // 2006 г. – 6 с.

32 Вдовенко, А.Ю., Применение методов синтезированной апертуры в ультразвуковой дефектоскопии с использованием фазированных антенных решеток / А. Ю. Вдовенко, Д. О. Долматов, Д. А. Седнев // Известия вузов. Физика. – 2018. – Т. 61, № 12-2. – 12-15 с.

33 Федеральный закон от 17.07.1999 N 181-ФЗ (ред. от 09.05.2005, с изм. от 26.12.2005) "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (принят ГД ФС РФ 23.06.1999).

34 ГОСТ 12.1.038 - 82. Электробезопасность. Предельно-допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [Текст]. – Введ. 1988-06-30. – М.: Госстандарт России, 1988.

35 ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации

36 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным



машинам и организации работы»: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03: утв. Министерством Здравоохранения Российской Федерации от 13.06.03 года N 118.

37 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: СанПиН 2.2.4.548-96: утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 1 октября 1996 г., № 21

38 Строительные нормы и правила Российской Федерации. Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 41-01-2003: принят Постановлением Госстроя России от 26 июня 2003 г., №115.

39 Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность

## Приложение А

(обязательное)

Таблица А.1 – Календарный план график проекта

№ п/п	Вид работ	Испол- нители	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	09.17			10.17			11.17			12.17			02.18			03.18			04.18			05.18			06.18
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Выбор направления исследований	Рук.	1	■																								
2	Разработка технического задания на НИР	Рук.	1	■																								
		Инж.		▨																								
3	Утверждение технического задания	Рук.	7	■																								
4	Календарное планирование работ	Рук.	2	■																								
		Инж.		▨																								
5	Подбор и изучение материалов по теме «Методы неразрушающего контроля»	Инж.	61		▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨																
6	Изучение программы Matlab	Инж.	14								▨	▨																
7	Проведение экспериментальной части	Рук.	5									■																
		Инж.									▨																	
8	Подготовка отчета по проделанной работе	Инж.	11										▨	▨														
9	Обзор литературы по теме «ультразвуковая дефектоскопия»	Инж.	28												▨	▨	▨	▨										
10	Изучение программы CIVA	Инж.	4														▨											
11	Ознакомление с нормативной документацией	Инж.	42														▨	▨	▨	▨	▨	▨						
12	Изучение статей по акустике ультразвука	Инж.	21																			▨	▨	▨	▨			
13	Проведение симуляций в программном пакете CIVA	Рук.	5																					■				
		Инж.																						▨				

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Вид работ	Испол- нители	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	05-06.18	09.18			10.18			11.18			12.18			03.19			04.19			05.19	
					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
14	Подготовка отчета по результатам симуляций	Инж.	15																					
15	Обзор литературы по теме «Метод SAFT»	Инж.	56																					
16	Формирование отчета на обзор литературы	Инж.	55																					
17	Разработка технического задания на выполнение магистерской диссертации	Рук.	1																					
18	Утверждение технического задания	Рук.	1																					
19	Изучение материала по теме «Применение фазированных антенных решеток в УЗК»	Инж.	14																					
20	Изучение математических моделей	Инж.	2																					
21	Проведение экспериментальной части	Рук.	13																					
		Инж.																						
22	Обобщение и оценка результатов	Инж.	5																					
23	Составление пояснительной записки	Инж.	7																					
24	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Рук.	2																					
		Инж.																						
25	Подготовка к защите	Инж.	3																					

– руководитель    – инженер

**Приложение Б**  
(обязательное)



**Приложение В**  
(обязательное)

**Development of ultrasonic tomography algorithm for nuclear power engineering components**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM73	Вдовенко А.Ю.		

Руководитель ВКР (НОЦ) МНОЛ НК ЦПТ ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер МНОЛ НК ЦПТ ИШНКБ	Долматов Д.О.			

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ИЯТШ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Шайкина О.И.			

## **Introduction**

Limited reserves of fossil fuels, global warming and insufficient output of renewable energy resources coupled with soaring demand for energy and rapid increase of energy price result, after more than two decades of stagnation, into renewed interest in nuclear energy. Herefore the nuclear power now plays an essential role in generating of electricity in many countries of the world. In a number of countries generating of an electricity at nuclear power plants makes more than 50 per cent (Lithuania - 81,5%, France - 78,2 %, Belgium - 60,1%).

One of the major challenges for this technology is the safe geological disposal of radioactive waste and spent fuel.

Spent nuclear fuel (SNF) is one of the most hazardous types of nuclear power plant waste. Characterization and control of radioactive waste packages are important issues of the careful handling and storage of SNF.

A critical issue for the acceptance of the canister is to guarantee that it does not contain welding defects that may cause loss of integrity during design life time.

Solving of this problem is directly connected to application of non-destructive testing and diagnostics.

## 1 Defects of welded joints

Welding defects can be defined as weld surface irregularities, discontinuities, imperfections, or inconsistencies that occur in welded parts. Defects in weld joints could result in the rejection of parts and assemblies, costly repairs, significant reduction of performance under working conditions and, in extreme cases, catastrophic failures with loss of property and life. In the case of containers with spent nuclear fuel there is the possibility of radioactive contamination of the environment and the risk to human health.

Welding defects are primarily geometrical imperfections in the welded joint caused by manufacture:

- cracks,
- pores,
- solid inclusions,
- incomplete fusion,
- unsatisfactory penetration.

Cracks are planar separations in the material with a correspondingly sharp crack tip. Different categories of cracks are longitudinal cracks, transverse cracks or radiating/star cracks and cracks in the weld crater (figure 1). The crater is particularly at risk of cracking as a result of the localised accumulation of microdefects combined with high residual stress. Macrocracks are recognisable with the naked eye, microcracks only with magnifying equipment.

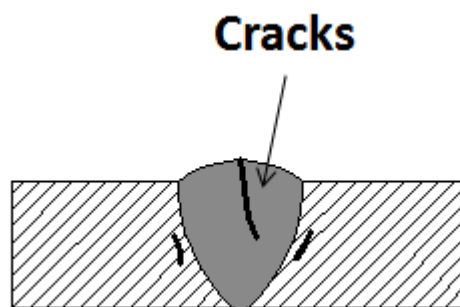


Figure 1 – Welding defects, cracks



Cracks occur after welding and thermal or mechanical post-treatment for various reasons, which are expressed by their designations. Hot cracks, including solidification and liquation cracks, are initiated at high temperatures where solid and liquid phases occur together. Cold cracks, including hydrogen-induced, hardening, ageing and precipitation cracks, occur at low temperatures after the material's ductility is exhausted. Cracks markedly reduce fatigue strength, particularly under transverse loading. The reduction in strength is dependent above all on the size of crack so that quality standards for manufacturing mainly limit this parameter.

Pores are cavities (frequently spherical) with gas residues, which cannot escape when solidification takes place rapidly. These gases are generated from the flux or coating constituents of the electrode or shielding gases used during welding or from absorbed moisture in the coating. Pores occur in welding because of too high a sulphur content in the base material and the filler metal, and because of nitrogen entering through the arc shield. Depending on their size (diameter 0.01-1.00 mm), shape, and number, these are described as single pores, linear porosity, localised porosity, uniformly distributed porosity and wormhole porosity (figure 2).

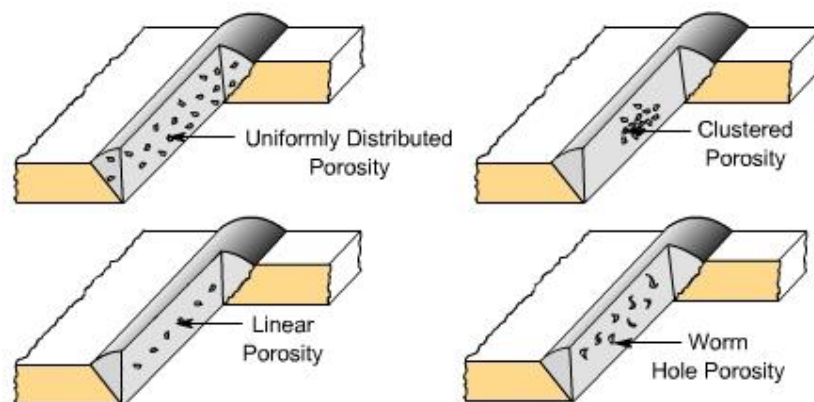


Figure 2 – Different Forms of Porosities

Cavities as a result of shrinkage during solidification are designated shrinkage cavities.

Solid inclusions may be in the form of slag (in the case of steels) or any other nonmetallic material entrapped in the weld metal. This is explained by the fact that solid inclusions are not able to float on the surface of the solidifying weld metal

(figure 3). Slag inclusions occur when slag on a previous weld pass was not removed adequately. Slag inclusion not only reduces cross section area strength of joint but also may serve as initiation point for serious cracking [1].

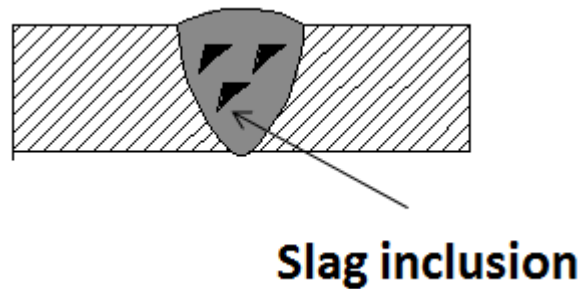


Figure 3 – Welding defects, solid inclusions

Lack of fusion defects and inadequate penetration. Unfused interfaces between filler metal and base metal (groove face) or between different layers of the filler material are characterised as fusion defects (Figure 4). The most frequent cause of fusion defects is foreign matter on the surface to be welded, slag or mill scale for steel. Fusion defects reduce fatigue strength in a similar way to cracks.

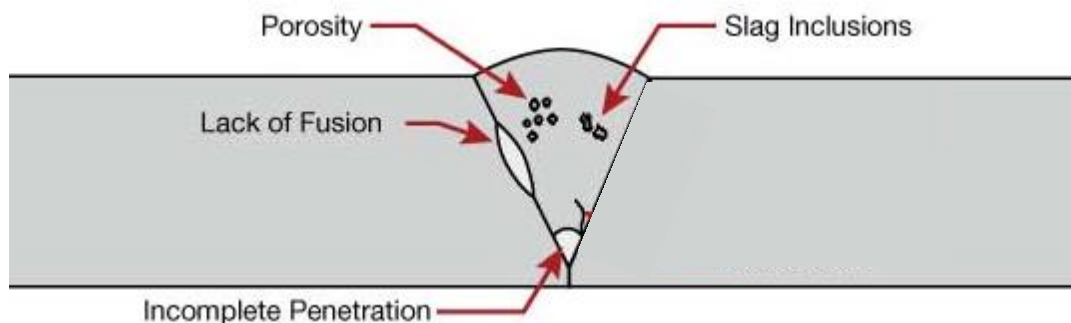


Figure 4 – Welding defects, lack of fusion, incomplete penetration

Inadequate penetration means that the weld pool does not reach the weld root, therefore a root gap is left, intentionally or accidentally. Poor fit-up and use of an incorrect welding method for the type of joint are the cause of unintentional lack of penetration.

Lack of fusion and penetration defects behave in a similar manner to cracks.

All types of welding defects must be minimized as they directly affect the properties. The most important defects are micro-fissures, cracking caused by slag inclusion, porosity, oxide tints and disbonding from the substrate. Material fissures caused by non-metallic elements, like sulfur and phosphorus, increase tensile stress between the grains [2].

## **2 Types of non-destructive testing**

Non Destructive Testing (NDT) is a tool which ensures that structures, components and systems are safe and reliable. The concept of finding flaws without destroying the material i.e., without making any damage in the functional properties or characteristics of the component, material, or system, the flaw can be detected using NDT. Commonly used traditional methods are Visual testing, Magnetic testing, Liquid Penetrant testing, Radiographic testing and Ultrasonic testing. These are used to detect and evaluate flaws or internal discontinuities or leaks in a system. Each NDT Technique has advantages and limitations.

Visual inspections are basically a comparison of finished welds with an accepted standard. This test is particularly effective detecting macroscopic flaws, such as poor welds. Visual inspection is one of the Non-Destructive Examination disciplines and for some applications may be the only form of NDE. For more demanding service conditions, visual inspection is usually followed by one or more of the other NDT techniques -' surface crack detection and volumetric inspection of butt welds.

Magnetic particle inspection is most effective for the detection of surface or near surface flaws in welds. Surface breaking or very near surface discontinuities in ferromagnetic materials give rise to "leakage fields" when high levels of magnetic flux are applied. These leakage fields will attract magnetic particles (finely divided magnetite) to themselves and this process leads to the formation of an indication. The magnetic particles may visibly or fluorescently pigmented in order to provide contrast with the substrate or conversely the substrate may be lightly coated with a white

background lacquer in order to contrast with the particles. Fluorescent magnetic particles provide the greatest sensitivity. The particles will normally be in a liquid suspension and this will normally be applied by spraying. In certain cases dry particles may be applied by a gentle jet of air. The technique is applicable only to ferromagnetic materials. The leakage field will be greatest for linear discontinuities lying at right angles to the magnetic field. This means that for a comprehensive test the magnetic field must normally be applied in two directions, which are mutually perpendicular. The test is economical to carry out both in terms of equipment costs and rapidity of inspection. The level of operator training required is relatively low.

Liquid penetrant methods are used to inspect metals for surface defects that are similar to those revealed by magnetic particle inspection. Unlike magnetic particle inspection, which can reveal subsurface defects, liquid penetrant inspection reveals only those defects that are open to the surface.

Any liquid that has good wetting properties will act as a penetrant. Penetrants are attracted into surface breaking discontinuities by capillary forces. Penetrant, which has entered a tight discontinuity, will remain even when the excess penetrant is removed. Application of a suitable developer will encourage the penetrant within such discontinuities to "bleed out". If there is a suitable contrast between the penetrant and the developer an indication visible to the eye will be formed. This contrast may be provided by either visible or fluorescent dyes. Use of fluorescent dyes considerably increases the sensitivity of the technique. The technique is not applicable at extremes of temperature. At low temperatures (below 5°C) the penetrant vehicle, normally oil will become excessively viscous and this will cause an increase in the penetration time with a consequent decrease in sensitivity. At high temperatures (above 60°C) the penetrant will dry out and the technique will not work.

Radiographic methods in all cases radiographic methods as applied to welds involve passing a beam of penetrating radiation through the test object. The transmitted radiation is collected by some form of sensor, which is capable of measuring the relative intensities of penetrating radiations impinging upon it. In most

cases this sensor will be a radiographic film, however the use of various electronic devices is on the increase. Digital technology has enabled the storing of radiographs using computers. The present discussion is confined to film radiography since this is still by far the most common method applied to welds.

Volumetric weld defects as slag inclusions (except in some special cases where the slag absorbs radiation to a greater extent than does the weld metal) and various forms of gas porosity are easily detected by radiographic techniques due to the large negative absorption difference between the parent metal and the slag or gas. Planar defects such as cracks or lack of side wall or interrun fusion are much less likely to be detected by radiography since such defects may cause little or no change in the penetrated thickness. Where defects of this type are likely to occur other NDE techniques are preferable to [3].

Ultrasonic inspection of testing uses high-frequency vibrations or waves to locate and measure defects in welds.

The velocity of ultrasound in any given material is a constant for that material and ultrasonic beams travel in straight lines in homogeneous materials. When ultrasonic waves pass from a given material with a given sound velocity to a second material with different velocity refraction and reflection of the sound beam will occur at the boundary between the two materials. The same laws of physics apply equally to ultrasonic waves as they do to light waves. Because of ultrasonic waves are refracted at a boundary between two materials having different acoustic properties, probes may be constructed which can beam sound into a material at (within certain limits) any given angle. Because sound is reflected at a boundary between two materials having different acoustic properties ultrasound is a useful tool for the detection of weld defects. Because of the velocity is a constant for any given material and because sound travels in a straight line (with the right equipment) ultrasound can also be utilized to give accurate positional information about a given reflector. Careful observation of the echo pattern of a given reflector and its behavior as the ultrasonic probe is moved together with the positional information obtained above and a

knowledge of the component history enables the experienced ultrasonic operator to classify the reflector as say slag lack of fusion or a crack [4].

### **3 Drawbacks of traditional ultrasonic testing methods**

Ultrasonic testing methods find wide application in industry for nondestructive inspection of components and equipment. The main drawbacks of traditional ultrasonic testing methods include the low accuracy of determining the sizes of flaws and the problem of flaw classification. In addition, traditional inspection does not ensure the detection of the most dangerous flaws, such as cracks, due to the complexity of the phenomenon of diffraction of ultrasonic pulses on them. As a result, overly strict inspection standards are used in certain branches of industry [5].

In the weld technology the ultrasonic NDT has a number of features. Sounding of built-up metal and the weld zone is carried out from surface of attached pieces [6]. For this purpose, slanted transducers are used. The inspection is carried out under constrained conditions when flaws are detected by means of not only the direct sounding but also beams reflected from the bottom wall of the piece. Series of echo-signals initiated by structural weld features which fit into the testing zone are observed in welded joints. There is a problem of identification of echo-signals generated by flaws.

However, a correctly determined type of flaw and its size and location are the factors that determine the possibility of usage of an object being tested and its service life.

### **4 Visualization of the data of ultrasonic NDT with b- and c-scans**

The first and rather logical technical solution for upgrading the informative testing level is to represent echo-signals in the form of two-dimensional (B-scan) and

three-dimensional echo-signal images in the form of two-dimensional images (B- and C-scans). Figures 5 and 6 illustrate the principle of formation of an image.

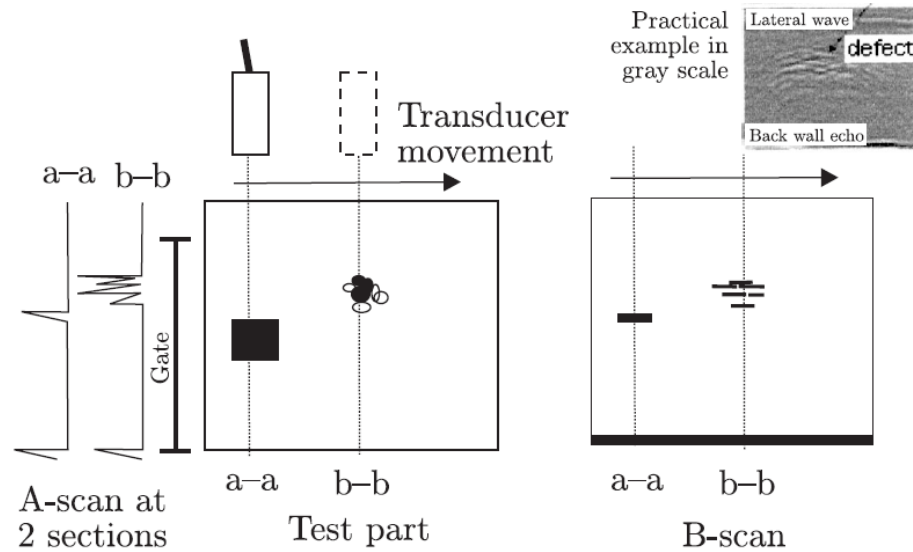


Figure 5 – Representation of the sounding data on a B-scan

The B- and C-scans are constructed using a series of echo signals obtained in the process of the transducer movement along the surface of a tested object. The echo-signal amplitude characterizes the image brightness. Echo signals corresponding to given positions of the transducer are mapped (projected) in the display plane in a certain scale. The B-scan (see Figure 5) represents the dependence of the echo-signal amplitude on the depth and one of the direction of scanning (side view). The C-scan (see Figure 6) represents the dependence of the echo-signal amplitude on two direction of scanning (view from above). Instruments of such class was mainly designed in 70s – 80s [5].

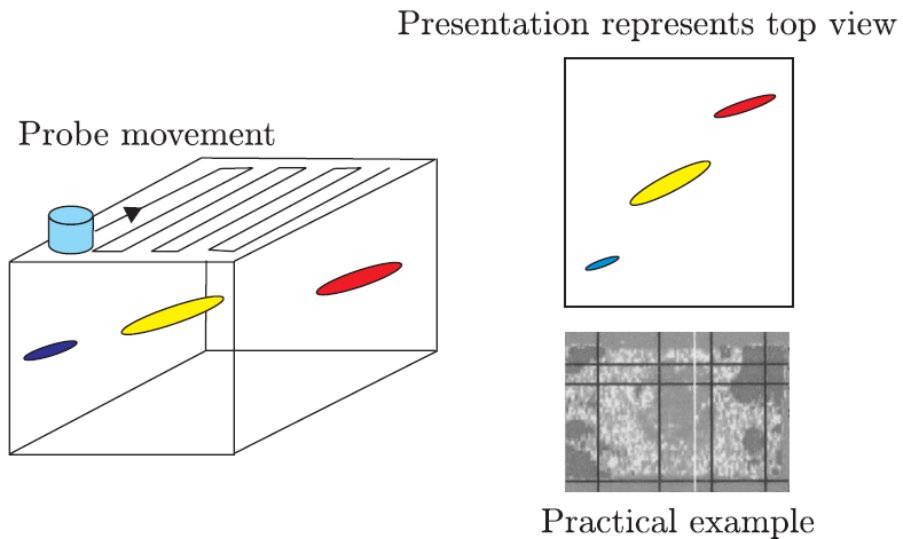


Figure 6 – Representation of the sounding data on a C-scan

## 5 The ultrasonic computer tomography

The next step in the development of ultrasonic equipment is the designing of tomographic apparatuses representing the test data in the form of images. At the ultrasonic tomographic system is used multi-unit ultrasonic transducers delivered in the form of acoustic blocks. For ultrasonic NDT purposes, not a single-channel piezoelectric transducer is used, but a phased antenna array. The array can have a different number of elements, the more they are, the more accurate will be the reconstruction, but a large number of elements leads to the use of large computing power. In this case, the control can be divided into cycles, where at each cycle the signal is transmitted by only one piezoelectric transducer and is received by all of them. At present, this construction of the acoustic system is generally accepted [7].

In the process of testing, a scanner moves ultrasonic transducer unit along the surface of the near-weld zone. The welded joint is sounded and the echo signals obtained in various positions of the transducers are stored. Then images are synthesized using a personal computer.

One of the most promising ways to acoustic image reconstruction technologies is the application of methods and devices that visualize the internal



structure of the testing object. For this purpose Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT) was developed.

## **6 Synthetic Aperture Focusing Technique**

The echo-signal processing methods upgrading the images have the common name: the Synthetic Aperture Focusing Technique. This technique was first designed to obtain images in radars. Later, it was used in medical ultrasonic scanners. In recent years, investigations are carried out on its use in devices for ultrasonic inspections of metal.

In fact, the Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT) represents the general name of a certain series of acoustic image reconstruction technologies. In any case, the mathematical techniques of the image formation are dedicated to the reduction in the uncertainty of location of reflectors initiated due to the wave nature of radiation. Clearly, in the ultrasonic system the echo signals carry incomplete (fuzzy) information concerning the reflectors [8].

The SAFT methods use various signal processing after which the reflector location and shape uncertainties decrease sharply and additional data on flaws are represented in the form of two- and three-dimensional pictures.

SAFT is used for improving the quality of images and implies the joint post-processing of signals received by the transducer from all its positions on the object surface. As a result, an ultrasonic aperture of large wave dimensions is synthesized and the image of the internal structure of the test object is reconstructed via the digital focusing at each point of the visualized region [8].

The very technology the image reconstruction involves two stages:

- monitoring and obtaining data;
- data processing and reconstruction.

## **7 Experiment**

An algorithm of spatial-temporal processing based on the SAFT principles for visualization of the internal structure of welds was implemented in the Matlab R2016b. The algorithm took into account the features of welds ultrasonic testing associated with the propagation of ultrasound through materials through the media with different acoustic properties, their multiple reflections from the boundaries of the testing object, and the necessity to scan from the parent materials of the weld and small thicknesses of the objects being inspected [9].

The effectiveness of the proposed algorithm was considered with respect to improving the quality of the results obtained in comparison with the space-time processing algorithm, which takes into account only the direct reflection of ultrasonic waves from discontinuities inside the test object (space-time processing using “direct” ultrasonic waves). To perform this task, such algorithm was also developed using the Matlab software.

To solve this problem, the results of computer simulations implemented in the CIVA 2016 software package were used as the initial data. The simulations considered a 16 mm thick steel sample with a welded joint in which an artificial rectangular surface-breaking flaw defect was located. In total, three series of simulations were carried out, in which the height of this defect was varied (4, 6, and 8 mm).

A phased array transducer with sixteen elements was used as an ultrasonic transducer; the distance between the centers of the neighboring elements was 0.6 mm. The central frequency of ultrasonic signals which were generated by each element of phased array was 5 MHz. Ultrasound data were sampled in Full Matrix Capture mode which implies the application of full set of all possible transmitter/receiver combinations [5]. In the framework of the simulations, the ultrasonic converter was located on a plexiglass wedge, the angle of refraction of which was 45 degrees.

## **8 Results and discussions**

The simulations made it possible to obtain data for post-processing using the developed algorithm. The results of post-processing using “direct” ultrasonic waves are presented in figure 2, similar results for visualization using reflected waves are presented in figure 3.

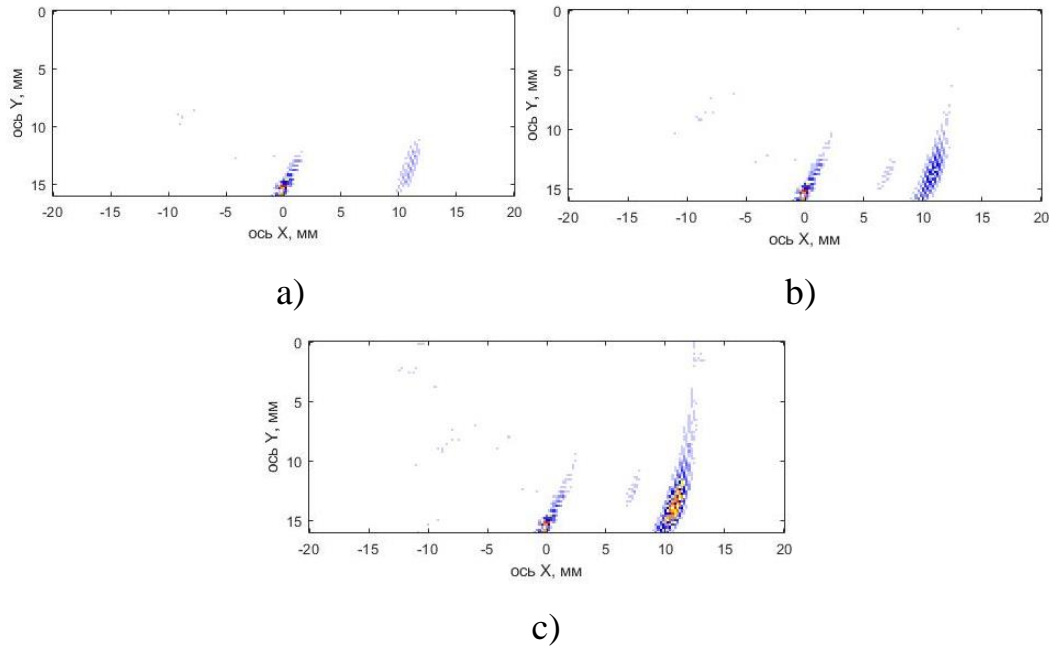
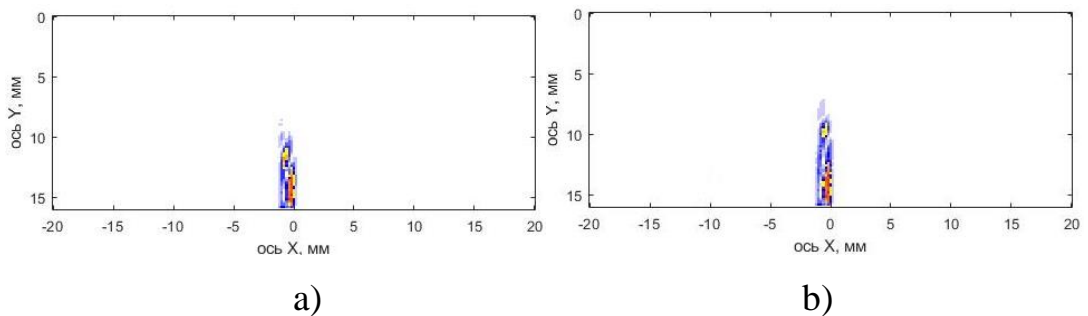
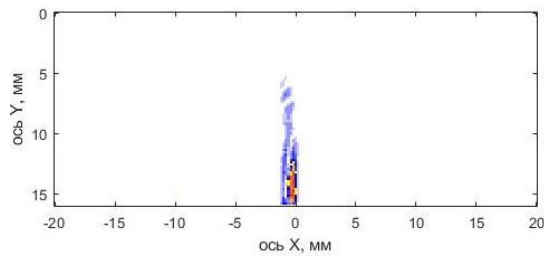


Figure 2 – Defect image obtained using the post-processing algorithm using “direct” ultrasonic waves: a - defect height is 4 mm, b - defect height is 6 mm, c - defect height is 8 mm.





c)

Figure 3 – Defect image obtained using the post-processing algorithm using multiple reflected ultrasonic waves: a - defect height is 4 mm, b - defect height is 6 mm, c - defect height is 8 mm.

In the images of defects obtained using the post-processing algorithm using “direct” ultrasonic waves, the defect in the coordinate (0; 0) (the real position of the defect) has an undefined shape, and in the coordinate (10; 0) a false image of the defect appears. As you can see, with increasing size of the flaw, the false image becomes more intense and drowns out the real defect. The defect images obtained using the post- processing algorithm using repeatedly reflected ultrasonic waves have a clearly defined rectangular shape and equally clearly define both small (4 mm) and large (8 mm) defects.

## **Conclusion**

The complexity of the ultrasonic testing of welds is connected with the difficulties in determining the actual size of the flaws. In this manuscript, the feasibility and effectiveness of the reconstruction were investigated, taking into account the rays reflected from the bottom of the testing object. Such an approach can be more beneficial in comparison with common SAFT algorithm implementation, which implies the post-processing of the ultrasonic waves directly retracted from the controlled object. It is related to a large number of reflections of ultrasonic waves from the boundaries of the test object, which can cause the appearing on the synthesized image false indications that do not correspond to real flaws in the testing object. The considered algorithm showed high information content and accuracy of the obtained image.

## References

- 1 Ramech Singh., Applied Welding Engineering. Processes, Codes, and Standards. Location: Elsevier, 2016. Vols. 2.
- 2 Dieter Radaj Dr-Ing habil. Design and Analysis of Fatigue Resistant Welded Structures. Woodhead Publishing, 1990, pp. 66-97.
- 3 Non Destructive Examination of Welds-Welding Inspection Technology-Lecture Handout, Exercises for Welding Inspection Technologies [Web-resource] – Websit access mode: <https://www.docsity.com> (Date of last use: 30.04.19)
- 4 Bolotina, I, Bulavinov, A, Lider, A, Sednev, D, and Shtaynbreher, A, Ultrasonic inspection of spent nuclear fuel casks, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., 2015, vol. 81, no. 1, article no.
- 5 Barkhatov, VA., Development of methods of ultrasonic nondestructive testing of welded joints, Russ. J. Nondestr. Test., 2003, vol. 39, no. 1, pp. 23-47.
- 6 Bazulin, E.G., Allowing for Inhomogeneous Anisotropy of a Welded Joint When Reconstructing Reflector Images from Echo Signals Received by an Ultrasonic Antenna Array, Russ. J. Nondestr. Test., 2017, vol. 53, no. 1, pp. 9-22.
- 7 Bazulin, E.G., Comparison of systems for ultrasonic nondestructive testing using antenna arrays or phased antenna arrays, Russ. J. Nondestr. Test., 2013, vol. 49, no. 7, pp. 404-423.
- 8 Bazulin, E.G., Reconstructing Reflector Images in Ultrasonic Testing of Isotropic Inhomogeneous Media, Russ. J. Nondestr. Test., 2016, vol. 52, no. 8, pp. 425-442.
- 9 I. Petrov. The implementation of post-processing algorithm for ultrasonic testing of welds / I. Petrov, A. Vdovenko, D. Dolmatov, D. Sednev // Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 510, no. pp. 1-4.